

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Diplomová práce

2018

Bc. Lukáš Neslaník

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Návrh a nastavení elektrických ochran ve spínací
stanici 22 kV Frýdek-Místek - Slezská**

**Design and adjustment of electrical protection
for switching station 22 kV
Frýdek-Místek - Slezská**

2018

Bc. Lukáš Neslaník

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Neslaník**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Návrh a nastavení elektrických ochrann ve spínací stanici 22 kV Frýdek-Místek – Slezská**
Design and adjustment of electrical protections for switching station 22 kV

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrann a jistění
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů
3. Popis spínací stanice 22 kV Frýdek-Místek-Slezská
4. Popis ochrann navržených pro chránění rozvodny
5. Návrh nastavení elektrických ochrann pro spínací stanici 22 kV
6. Zhodnocení navrženého řešení elektrických ochrann

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Janiček, F., Chladný, V. a kol.: Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
6. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
7. Firemní literatura a katalogy, technická dokumentace spínací stanice 22 kV

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 26.4.2018


.....

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi z firmy ČEZ Distribuce a.s. panu Ing. Milanu Blokšovi za poskytnutí podkladů, odbornou pomoc a konzultace.

Abstrakt

V této diplomové práci jsou v první části popsány definice pojmů ochran, dále nadproudové ochrany, jejich rozdělení a principy jejich funkčnosti. V další části je teoretický rozbor zkratových proudů.

Následuje popis spínací stanice 22 kV Frýdek-Místek - Slezská, její aktuální stav a důvody modernizace této spínací stanice.

Je proveden výpočet zkratových proudů pro přívodní vedení a vývodní vedení, včetně nastavení nadproudových stupňů, zkratových stupňů a časového zpoždění nadproudových ochran. A nakonec, nastavení zemní směrové ochrany.

Abstract

In this thesis the first part describes definitions of protection concepts, overcurrent protection, their distribution and principles of their functionality. The next part is the theoretical analysis of short-circuit currents. The following is a description of the switching station 22 kV Frýdek-Místek - Slezská, its current state, and reasons for modernization of this switching station.

Calculation of short-circuit currents for incoming and outgoing lines, including setting of overcurrent stages, short-circuit stages and overcurrent protection delay time. Finally, setting ground directional protection.

Klíčové slova

Ochrana, nadproudová ochrana, zemní ochrana, zkratový proud, ekvivalentní oteplovací proud, počáteční rázový zkratový proud, směrová ochrana, nesměrová ochrana, vypínací čas, selektivita, reaktance.

Key words

Protection, overcurrent protection, fault protection, short-circuit current, equivalent heating current, initial impulse short - circuit current, directional protection, non-directional protection, tripping time, selectivity, reactance.

Seznam použitých symbolů a zkratek

A/D	Analogově digitální	
AC	Střídavé napětí	
DC	Stejnoseměrné napětí	
DS	Distribuční síť	
DSO	Distribuční společnost	
LOR	Logická ochrana rozvodny	
NN	Nízké napětí	
OZ	Automatika opětovného zapnutí	
PD	Projektová dokumentace	
PSP	Podélná spojka přípojníc	
PTN	Přístrojový transformátor napětí	
PTP	Přístrojový transformátor proudů	
TVS	Transformátor vlastní spotřeby	
VN	Vysoké napětí	
7SJ85	Nadproudová ochrana	
max	Maximální	
min	Minimální	
\underline{a}	Komplexní konstanta	(-)
A	Počáteční hodnota stejnosměrné složky $i_{d.c.}$	(A)
c	Napěťový součinitel	(-)
$cU_n/\sqrt{3}$	Napětí ekvivalentního zdroje	(V)
f	Kmitočet	(Hz)
$i_{d.c.}$	Stejnoseměrná složka zkratového proudu	(A)
i_p	Nárazový zkratový proud	(A)
i_b	Souměrný zkratový vypínací proud	(A)
I_{DOV}	Maximální dovolený proud vedení	(A)
I_k	Ustálený zkratový proud	(A)
I_{kmin}	Nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku	(A)
I_k''	Počáteční souměrný rázový zkratový proud	(A)
I_{k3}''	Trojfázový počáteční rázový zkratový proud	(kA)
I_{k2}''	Dvoufázový počáteční rázový zkratový proud	(kA)
I_{k1}''	Jednofázový počáteční rázový zkratový proud	(kA)
I_{k3max}''	Maximální zkratový proud	(kA)
I_{k2min}''	Minimální zkratový proud	(kA)
I_{ke}	Ekvivalentní oteplovací proud	(A)
$\underline{I}_{L1}, \underline{I}_{L2}, \underline{I}_{L3}$	Fázový proud	(A)
I_n	Jmenovitý proud	(A)
I_r	Rozběhový proud	(A)
I_{rR}	Jmenovitý proud reaktoru	(A)

$\underline{I}_{(1)}$	Proud sousledné složkové soustavy	(A)
$\underline{I}_{(2)}$	Proud zpětné složkové soustavy	(A)
$\underline{I}_{(0)}$	Proud netočivé složkové soustavy	(A)
I_0	Zemní proud	(A)
I_∞	Nastavený rozběhový proud	(A)
K	Oteplovací konstanta	(-)
k_b	Koeficient bezpečnosti	(-)
k_c	Koeficient citlivosti	(-)
k_e	Součinitel oteplovacího proudu	(-)
k_p	Přídržný poměr	(-)
l	Délka vedení	(m)
L	Indukčnost	(H)
m	Součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu	(-)
n	Součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu	(-)
P	Činný výkon	(W)
p_i	Jmenovitý převod jistících transformátorů proudu	(-)
p_n	Převod transformátoru napětí	(-)
P_{knT}	Jmenovité ztráty nakrátko transformátoru	(W)
Q	Jalový výkon	(VAr)
R	Činný odpor	(Ω)
R_k	Činný odpor kabelu	(Ω/km)
R_L	Rezistence vedení	(Ω)
R_{L20}	Rezistence při teplotě 20 °C	(Ω)
S	Průřez vodiče	(mm ²)
S_k''	Počáteční souměrný rázový zkratový výkon	(VA)
$S_{k \max}''$	Maximální počáteční souměrný rázový zkratový výkon	(MVA)
$S_{k \min}''$	Minimální počáteční souměrný rázový zkratový výkon	(MVA)
S_n	Jmenovitý výkon	(VA)
S_{nT}	Jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru	(VA)
t_k	Vypínací čas na konci vedení	(s)
t_{vyp}	Maximální dovolený vypínací čas	(s)
t_z	Vypínací čas na začátku vedení	(s)
Δt	Stupeň časové selektivity	(s)
T	Doba periody	(s)
U_f	Fázové napětí	(V)
U_i	Vnitřní napětí náhradního zdroje soustavy	(V)
U_{kmax}	Největší napětí v místě připojení ochrany při zkratu na konci chráněného úseku	(V)
u_k	Napětí nakrátko	(%)
u_{kR}	Impedanční napětí na reaktoru	(%)
U_{min}	Minimální pracovní napětí	(V)
U_n	Jmenovitého napětí	(V)
U_{nT}	Jmenovité napětí transformátoru	(V)

U_r	Rozběhová hodnota podpěťového relé při zkratu na konci chráněného úseku	(V)
U_0	Nulová složka napětí	(V)
X	Reaktance	(Ω)
X_k	Reaktance kabelu	(Ω/km)
Z	Impedance	(Ω)
Z_c	Celková zkratová impedance	(Ω)
Z_k	Zkratová impedance	(Ω)
Z_s	Náhradní impedance napájecí soustavy	(Ω)
\underline{Z}_Q	Ekvivalentní impedance	(Ω)
$Z_{(1)}$	Výsledná sousledná impedance zkratového obvodu	(Ω)
$Z_{(2)}$	Výsledná zpětná impedance zkratového obvodu	(Ω)
$Z_{(0)}$	Výsledná netočivá impedance zkratového obvodu	(Ω)
α	Teplotní součinitel elektrického odporu	(K^{-1})
κ	Součinitel nárazového zkratového proudu	(-)
φ	Fázový posun	($^\circ$)
θ_e	Teplota vodiče	($^\circ\text{C}$)

OBSAH

ÚVOD.....	1
1 TEORETICKÝ ROZBOR OCHRAN A JIŠTĚNÍ.....	2
1.1 Základní pojmy	2
1.1.1 Chráněný objekt	3
1.1.2 Ochrana	4
1.2 Poruchové stavy	5
1.3 Základní členy ochran	7
1.3.1 Vstupní člen.....	7
1.3.2 Popudový člen.....	8
1.3.3 Logika	8
1.3.4 Měřicí člen.....	9
1.3.5 Časový člen	13
1.3.6 Koncový člen.....	14
1.3.7 Napájení ochran.....	14
1.4 Rozdělení ochran.....	14
1.5 Ochrany nadproudové	15
1.5.1 Nezávislé nadproudové ochrany	16
1.5.2 Podpěťové odblokování nadproudových ochran.....	19
1.5.3 Závislé nadproudové ochrany	20
1.5.4 Směrové nadproudové ochrany.....	21
1.5.5 Mžikové nadproudové ochrany.....	23
1.6 Zemní ochrana.....	24
2 TEORETICKÝ ROZBOR VÝPOČTU ZKRATOVÝCH PROUDŮ.....	25
2.1 Definice pojmů.....	25
2.2 Druhy zkratů.....	26
2.3 Charakteristiky zkratových proudů: výpočetní metoda.....	27
2.3.1 Všeobecně	27
2.3.2 Předpoklady k výpočtu.....	28
2.3.3 Metoda výpočtu souměrných složek	29
2.3.4 Maximální zkratové proudy	30
2.3.5 Minimální zkratové proudy	30
2.4 Zkratové impedance elektrických zařízení.....	31
2.5 Výpočet zkratových proudů	33

2.5.1	Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k''	33
2.5.2	Nárazový zkratový proud i_p	33
2.5.3	Ekvivalentní oteplovací proud I_{th}	34
3	POPIS SPÍNACÍ STANICE 22 KV FRÝDEK-MÍSTEK - SLEZSKÁ	34
3.1	Popis současného stavu	34
3.2	Popis nového stavu.....	38
4	POPIS NAVRHNUTÝCH OCHRAN PRO SPÍNACÍ STANICI 22 KV FRÝDEK-MÍSTEK - SLEZSKÁ	39
4.1	Vlastnosti ochrany.....	39
4.2	Ochranné funkce	39
5	VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ PRO NASTAVENÍ OCHRAN	41
5.1	Napájení napájecí linky Lískovec VN89.....	41
5.2	Napájení napájecí linky Lískovec VN123.....	41
5.3	Napájení napájecí linky Riviéra VN 122	42
5.4	Příklad výpočtu zkratových proudů pro vedení VN912 a VN 2080	43
5.5	Zadané parametry jednotlivých úseků vedení	46
5.6	Výsledné hodnoty zkratových poměrů na jednotlivých úsecích vedení.....	52
6	NÁVRH A NASTAVENÍ ELEKTRICKÝCH OCHRAN	58
6.1	Nadproudový stupeň	58
6.2	Zkratový stupeň.....	58
6.3	Nastavení zemních směrových ochran	64
	ZÁVĚR.....	65
	SEZNAM LITERATURY	66
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK	68

ÚVOD

Naše elektroenergetická soustava prošla v uplynulých několika desetiletích velmi rychlým rozvojem. Stále se zvyšuje rozsah provozovaných zařízení přenosu a rozvodu elektrické energie, a také se zvýšil instalovaný výkon našich elektráren. Zabezpečení bezporuchového provozu elektrizační soustavy, jejichž rozpad by měl za následky ohromné škody se vyžaduje zvýšení nároků na rychlé a správné likvidování nahodilých a nepředvídatelně vzniklých poruch v jednotlivých výrobních a přenosových článcích. Vývoj průmyslové výroby směřuje k automatizaci výroby, což klade vyšší požadavky na spolehlivost dodávky elektrické energie.

Elektrizační soustava obsahuje prvky na výrobu, transformaci, přenos, rozvod a spotřebu elektrické energie. Z důvodu zabezpečení spolehlivosti provozu je systém chránění nepostradatelnou částí elektrizační soustavy. Elektrická ochrana je jedna ze součástí systému chránění. Úkolem elektrické ochrany je na základě vstupních informací a nastavených parametrů rozhodnout, zda jde o poruchový nebo dovolený provozní stav. Na základě identifikace poruchového stavu ve vnitř chráněného objektu musí dát elektrická ochrana povel k vypnutí, neboli signalizuje abnormální provozní stav obsluze.

U elektrických ochran je důležité, aby přesně působily ve vymezených zónách tak, aby bezporuchové části elektrizační soustavy zůstaly vždy v provozu, aby následky vlivem poruchy byly eliminovány na co nejmenší míru.

Správné navržení ochran a nastavení ochran je podstatné pro správný, bezpečný a ekonomický provoz.

Ochrany používané v elektrických sítích prochází rychlým vývojem. V provozu se můžeme setkat stále s ochranami klasickými na bázi elektromechanických relé, a také i s ochranami na bázi polovodičů.

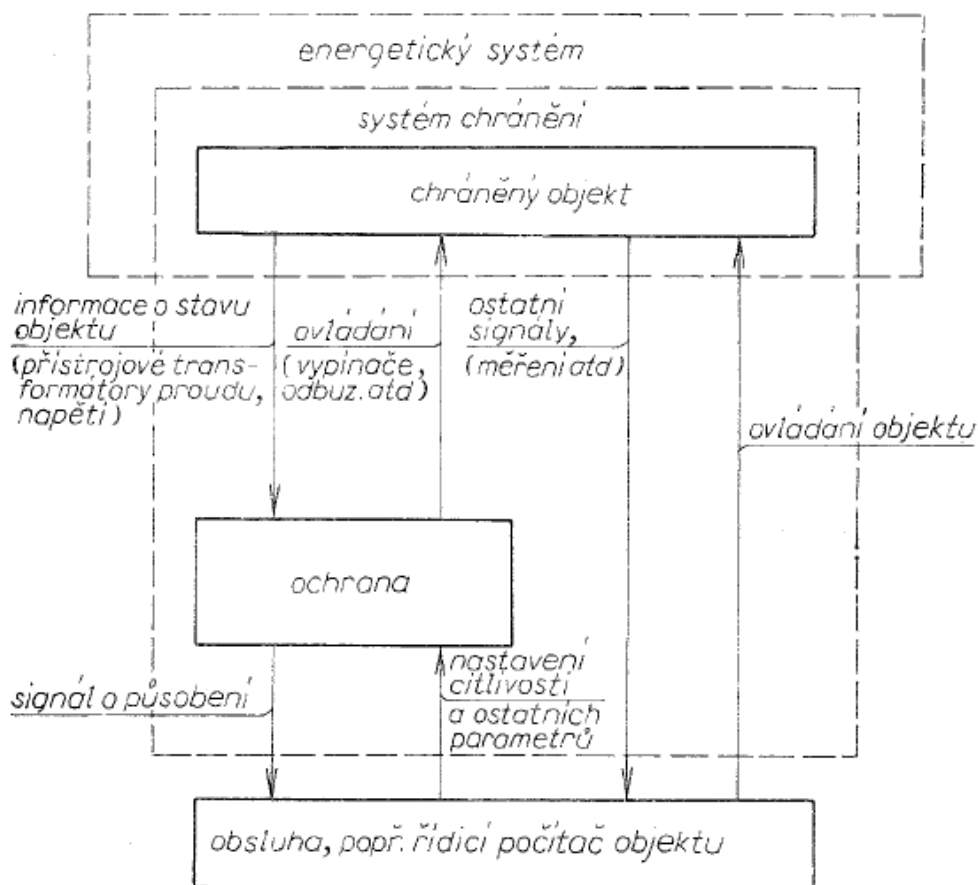
V dřívějších dobách se používaly elektromechanické a tranzistorové ochrany. V dnešní době se používají hlavně digitální ochrany. Digitální ochrany mají mnoho výhod, ale hlavní jejich výhodou je zvýšená spolehlivost. Získávají mnoho informací pro dispečink a technické pracoviště, mohou sloučit více ochranných funkcí do jedné ochrany.

1 TEORETICKÝ ROZBOR OCHRAN A JIŠTĚNÍ

Elektrizační soustava zahrnuje prvky na výrobu, transformaci, přenos, rozvod a spotřebu elektrické energie. Z hlediska zabezpečení spolehlivosti provozu je systém chránění důležitou součástí elektrizační soustavy. Elektrická ochrana je jedna ze součástí systému chránění [1].

1.1 Základní pojmy

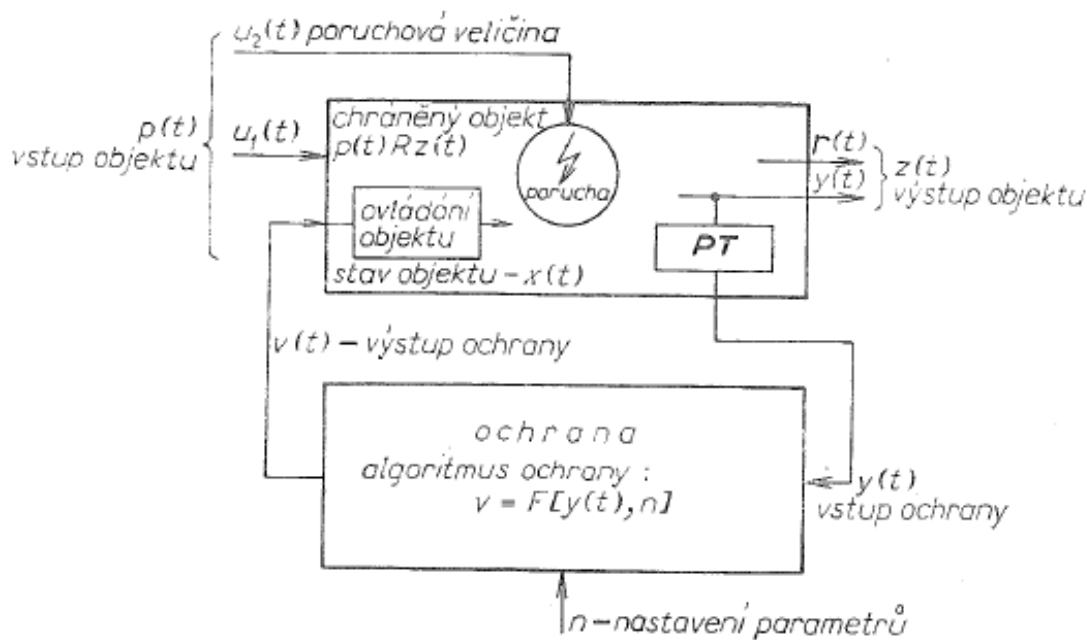
Ochrana je zařízení, které kontroluje chod určité částí energetického systému, např. generátoru, linky, transformátoru apod. Přes přístrojové transformátory proudu a napětí, popřípadě z dalších čidel získává informaci o jednotlivých veličinách chráněného objektu. Na obr. č. 1 je připojení ochrany k chráněnému objektu a naznačena jejich spolupráce. Informace o proudech a napětí objektu je ochranou zpracovávána. Ochrana musí rozlišit, je-li chráněný objekt v mezích normálního provozu nebo zda jde o poruchu. V případě poruchy uvnitř objektu ochrana omezuje havárii chráněného zařízení vypnutím, odbuzením apod. Ochrana také vysílá signál o působení pro obsluhu. Obsluha může nastavovat parametry ochrany, např. měnit její citlivost nebo časové zpoždění [2].



Obr. č. 1 Spolupráce chráněného objektu a ochrany [2]

1.1.1 Chráněný objekt

Vyjdeme z obr. č. 2, který vyjadřuje vztahy mezi chráněným objektem, ochranou a jejím okolím. Uzavřenou smyčkou zpětné vazby je ochrana připojena k chráněnému objektu. Ten lze definovat takto: Chráněný objekt je fyzikální zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Ochrana přitom zajišťuje, aby objekt při své funkci nepřekročil meze normálního působení. Překročení těchto mezí působí poškození objektu. Okamžitou funkci chráněného objektu lze určit pomocí stavových veličin.



Obr. č. 2 Princip uzavřené smyčky chránění [2]

Stavová veličina je, velmi jednoduše řečeno, fyzikální veličina chráněného objektu, jejíž velikost charakterizuje současné chování objektu. Stavové veličiny, které uvažujeme v oboru ochran, mohou být například: napětí, proudy, okamžité výkony, okamžitý kmitočet, teploty v určitých místech objektu, mechanické rychlosti, mechanické síly, apod.

Stav objektu $x(t)$ je soubor stavových veličin objektu. Zapisujeme jej ve tvaru vektoru.

Vstup objektu $p(t)$ je vektor veličin, kterými působí okolní a chráněný objekt. Vektor $p(t)$ se skládá ze dvou částí

$$p(t) = \begin{bmatrix} v(t) \\ u(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

kde $v(t)$ jsou vstupy chráněného objektu, které jsou ovládány ochranou $u(t)$ vstupy chráněného objektu, které ochrana nemůže ovlivnit.

Stavové veličiny objektu jsou funkcí minulých stavů a vstupních veličin. Stav objektu $x(t)$ obsahuje dostatek informací o minulosti objektu, která je nutná pro určení výstupu $z(t)$.

Výstup objektu $z(t)$ je vektor veličin chráněného objektu, kterými objekt působí na okolí. Vektor $z(t)$ se skládá ze dvou částí

$$z(t) = \begin{bmatrix} y(t) \\ r(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

kde $y(t)$ je vektor výstupů, které jsou měřeny ochranou, $r(t)$ ostatní výstupy objektu (neměřené ochranou).

Výstupní vektor objektu $y(t)$ je současně vstupem ochrany.

Výstupy ochrany jsou přivedeny k jednotlivým zařízením, které působí přímo na tok energie objektem.

Ovládání objektu je soubor zařízení, přes které působí ochrana na objekt. Jsou to: vypínače, odbuzovače, uzávěry páry, apod.

Pomocí ovládání likviduje ochrana poruchu. Na Obr. č. 2 je vyznačena smyčka systému chránění: objekt, výstup objektu $y(t)$, ochrana, vstup objektu $v(t)$, ovládání objektu.

Porucha je taková fyzikální změna na objektu nebo na veličinách, která způsobí, že stav objektu překročí meze normálního provozu. Takový stav je pro chráněný objekt nebezpečný.

Poruchová veličina $u_2(t)$ je fyzikální veličina, která způsobuje poruchu.

Výstupní veličiny $y(t)$ objektu jsou často proudy řádu kiloampérů a napětí stovky kilovoltů. Přímé přizpůsobení ochrany těmto veličinám je z technického i ekonomického hlediska nereálné. Proto se ochrany připojují k objektu přes přístrojové transformátory.

Přístrojové transformátory napětí (PTN) je transformátor, který převádí měřené napětí objektu na úroveň zpracovatelnou v ochraně.

Přístrojové transformátory proudu (PTP) převádí podobně měřený proud objektu na úroveň vhodnou pro ochranu [2].

1.1.2 Ochrana

Do ochrany je přiveden přes přístrojové transformátory měřený výstup objektu $y(t)$. Z něho ochrana odvozuje stav objektu $x(t)$ a určuje vektor $v(t)$, kterým působí zpětně na objekt.

Vstup ochrany $y(t)$ je vektor totožný s měřenými výstupy chráněného objektu. Ze vstupu $y(t)$ ochrana určuje vznik poruchy.

Při návrhu ochrany je nutné volit takové $y(t)$, které souvisí se stavovými veličinami (ty určují poruchu).

Výstup ochrany $v(t)$ je soubor veličin, kterými působí ochrana na objekt. Fázor $v(t)$ je totožný se vstupem objektu ovládanými ochranou.

Signál je veličina ochrany, kterou působí ochrana na obsluhu elektrického zařízení nebo na nadřazený řídicí systém

Algoritmus ochrany F je popis funkce ochrany, tj. souhrn vztahu mezi vstupy a výstupy. Určuje, jakým způsobem působí ochrana na chráněný objekt, získává-li informace o výstupu objektu $y(t)$.

$$v(t) = F[y(t), n] \quad (3)$$

Charakteristika ochrany je grafický zápis algoritmu ochrany.

Rovnice ochrany je matematický zápis algoritmu.

Parametry ochrany n jsou soubor konstant, kterými lze měnit (nastavovat) algoritmus F .

Citlivost je velikost měřené veličiny, tj. prvku fázoru $y(t)$, na kterou je ochrana nařízená a při které působí.

Nařiditelnost je rozsah všech hodnot měřené nebo stavové veličiny, na které lze nastavit citlivost ochrany.

Rozlišovací schopnost je schopnost ochrany rozeznat dva blízké stavy objektu, které se liší o Δx , z nichž jeden je poruchový a druhý ne. Minimální velikost Δx , kterou ochrana rozliší, nazýváme rozlišovací schopností.

Přídržný poměr je poměr velikosti stavové veličiny při návratu ochrany k její velikosti při náběhu ochrany. Poměr se dosahuje vždy tak, aby vyšlo číslo menší než 1.

Doba působení ochrany je čas mezi vznikem poruchy a signálem na výstupu ochrany. Označuje se symbolem t_p .

Přetížitelnost ochrany je maximální velikost vstupu ochrany $y_i(t)$, která působí definovanou dobu a neohroží život ochrany.

Spotřeba ochrany je příkon potřebný pro provoz ochrany. Udává se odděleně pro všechny vstupy ochrany i pro pomocný napájecí obvod při jmenovitých hodnotách.

Primární ochrana je ochrana, která pracuje bez přístrojových transformátorů tj. proudu a napětí jsou přivedeny přímo z objektu.

Sekundární ochrana je připojena k objektu přes přístrojové transformátory.

Prvek je elementární stavební díl ochrany, např. tranzistor relé, transformátor, apod.

Člen ochrany je soubor několika prvků ochrany, které tvoří samostatný funkční celek. Např. vstup nebo časový člen ochrany.

Blokování ochrany je činnost ochrany, která je podmíněna funkcí jiného přístroje.

Pro větší bezpečnosti provozu chráněného objektu je vhodné ochrany **zálohovat**. Potom při poruše na některé části ochranné soustavy působí ochrana záložní. Zálohování ochran má být vedeno zásadou, že je provádíme ochranou s jiným algoritmem.

Základní ochrana je základní vybavení objektu ochranou.

Záložní ochrana je vedlejší vybavení ochranou. Je vhodné zpozdit její působení proti základní ochraně, aby základní měla možnost působit přednostně [2].

1.2 Poruchové stavy

Zkrat je vzájemné spojení dvou nebo více fází popřípadě uzlem. Způsobuje elektrické poškození dielektrik a izolátorů, tepelné poškození vodičů (tavení) a nakonec i mechanické poškození vlivem zkratových sil. Poněvadž impedance zkratové smyčky je převážně induktivní, dochází při zkratu ke zmenšení činného výkonu a tím k odlehčení stroje. Současně klesá napětí. To má za následek zmenšení synchronizačního momentu a ztrátu stability. Zkrat může být způsoben únavou izolace, vlivem počasí, mechanickým poškozením, špatnou manipulací a apod.

Přetížení je průchod příliš velké energie zařízením. Způsobuje především tepelné poškození. Dále mechanická, a to i na pohonných strojích. Podstatně urychluje stárnutí izolací. Přetížení je nejčastěji způsobeno nedostatkem instalovaného činného elektrického výkonu, který neodpovídá okamžité spotřebě. Důsledek přetížení bývá obvykle přehřátí objektu nebo jeho části nad dovolenou mez $\vartheta > \vartheta_{\max}$.

Podpětí má za následek především proudové přetěžování, odebírá-li připojené zařízení konstantní výkon

$$i = \frac{P}{u} \quad (4)$$

Při snížení napětí u dochází podle (4) ke zvětšení i a tím i k proudovému přetížení. Podpětí může být způsobeno nedostatečnou kompenzací, přetížením nebo poruchou regulace napětí.

Snížení kmitočtu má za následek zvětšení magnetizačních proudů, a tím zvětšení ztrát a oteplení. Nastává přetížením zdrojů energie v síti.

Zvýšení kmitočtu působí především mechanicky, a to jak na chráněné zařízení, tak na připojené stroje. Zvýšení kmitočtu bývá způsobeno poruchou regulace výkonu.

Nesouměrnost proudu je nebezpečná zvláště u synchronních a asynchronních točivých strojů. Ty jsou konstruovány tak, že pole statoru se otáčí ve stejném smyslu jako rotor. Nesouměrnost proudu statoru je stav, kdy vzniká zpětná složka proudu i_2 . Zpětná složka i_2 vytváří magnetické pole, které se otáčí v opačném smyslu, tj. dvojnásobnou rychlostí $2\omega_n$ proti rotoru. Tak vznikají v rotoru přídavné vířivé ztráty a rotor se může nebezpečně zahřívat. Nesouměrnost proudu může být způsobena přerušením vodičů nebo nesouměrností zátěže.

Nesouměrnost napětí má za následek nesouměrnost proudu. Příkladem je chod motoru na dvě fáze. Vlivy, které způsobují nesouměrnost napětí, jsou tytéž jako nesouměrnost proudu.

Zemní spojení je galvanické spojení jedné fáze se zemí v síti, kde je izolovaný nebo kompenzovaný uzel. Je nebezpečné především pro velkou pravděpodobnost následného zkratu. Může být způsobeno stejnými vlivy jako zkraty.

Zpětný tok výkonu je porucha nebezpečná pro točivé stroje. Zpětný výkon může poškodit připojené mechanické stroje, tj. přenos energie z generátoru do turbíny, nebo z motoru do sítě. Zpětný tok výkonu je způsoben buď chybnou regulací výkonu, nebo špatnou energetickou bilancí sítě.

Ztráta buzení synchronních točivých strojů je zmenšení budícího proudu pod mez statické stability. Má za následek jednak snížení napětí, což ohrožuje stabilitu sítě, jednak asynchronní chod stroje. Při ztrátě buzení stroj s vyniklými póly ztratí synchronismus. To může dále způsobit mechanická i elektrická poškození. Stroj s hladkým rotorem přejde do asynchronního chodu. Velmi nepatrně změni otáčky, neboť velké stroje pracují s malým skluzem. Motor zpomalí, generátor zrychlí. Vznikne stav podobný jako při proudové nesouměrnosti. Točivé pole statoru se neotáčí synchronně s rotorem, vznikají přídavné vířivé ztráty a rotor se otepluje. Ztráta buzení a asynchronní chod může nastat při podpětí a poruchou budicích obvodů.

Ložiskové proudy působí přídavné oteplení a tím i mechanické poškození ložisek točivých strojů. Vznikají při magnetických nesouměrnostech ve statoru i rotoru stroje.

Kývání synchronního stroje je periodický pohyb rotoru, který se připojuje k synchronní rotaci. Dochází k němu po vychýlení rotoru z rovnovážné polohy. Tak vzniká moment, který vrací rotor zpět. Ten setrvačností překývne na opačnou stranu. Nastává kývání rotoru superponované k jeho synchronní rovnoměrné rotaci. Kývání je tlumeno vířivými proudy v masivních částech rotoru stroje, popř. tlumičem (klecí) v rotoru. Při kývání může dojít i k vychýlení rotoru za mez statické stability

$\delta = \frac{\pi}{2}$ až do úhlu $\delta_d \geq \frac{\pi}{2}$. Vlivem dynamických sil při periodickém pohybu se rotor vrací zpět do polohy $\delta \leq \frac{\pi}{2}$ a nedojde ke ztrátě synchronismu. Mezní úhel $\delta_d \geq \frac{\pi}{2}$, při kterém ještě nedojde ke ztrátě stability při kývání, nazýváme „dynamická mez stability“.

„Dynamická stabilita“ vyjadřuje schopnost stroje neztratit synchronismus při kývání. Pokud existují v síti skupiny generátorů tak, že impedance vedení mezi generátory téže skupiny jsou malé a

impedance mezi skupinami velké, může dojít ke kývání těchto skupin proti sobě navzájem. Tento jev působí jako fiktivní zkrat, který jakoby se periodicky pohyboval po spojovacím vedení mezi skupinami. Zkratová ochrana přitom nesmí působit. Proto bývá vybavena tzv. „závorou při kývání“, tj. blokuje při kývání. Dojde-li ke ztrátě synchronismu, musí ochrana působit [2].

1.3 Základní členy ochran

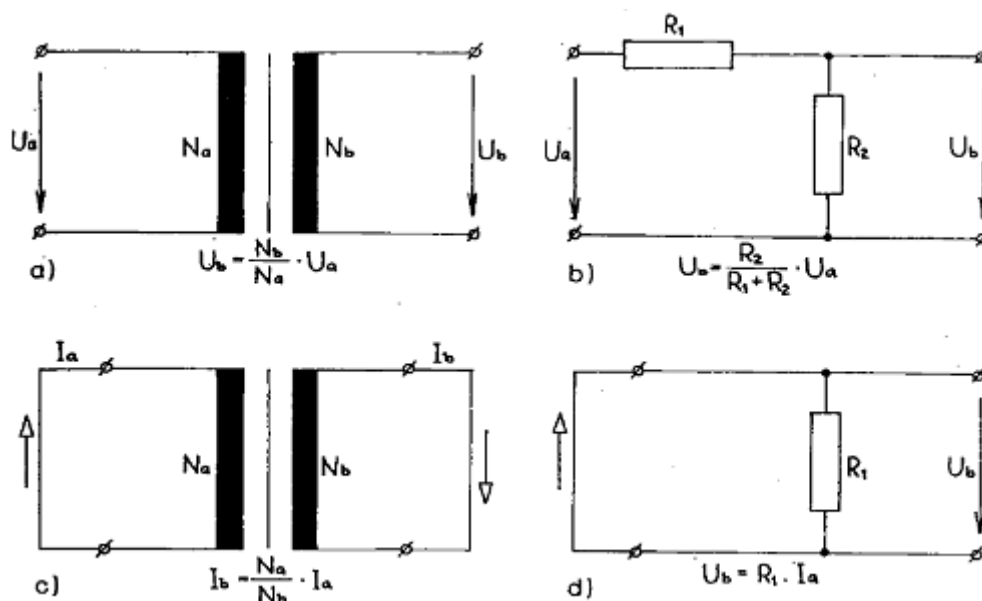
Ochrana se skládá z těchto základních členů (nemusí je však obsahovat všechny):

- a) vstupní člen,
- b) popudový člen,
- c) měřicí člen,
- d) logika ochrany,
- e) časový člen,
- f) koncový člen,
- g) napájecí člen,
- h) filtry souměrných složek proudu a napětí [1].

1.3.1 Vstupní člen

Vstupní člen převádí vstupní veličiny (např. napětí a proud chráněného objektu) na vhodný - dále zpracovatelný tvar a úroveň. Jmenovité vstupní hodnoty ochran bývají 100 V a 5 nebo 1 A. Tyto veličiny jsou přiváděny na vstupní svorky ochran (na vstupní členy) z jistících transformátorů napětí a proudu. Popudové (měřicí) členy ochran pracují s veličinami na úrovni jednotek voltů a miliampérů. Vstupní člen ochrany proto převádí vstupní veličiny na tyto úrovně a to zpravidla pomocí děličů napětí, bočníků a převodních mezitransformátorů. Na Obr. č. 3 jsou uvedeny příklady realizace vstupních členů ochrany. Vstupní veličiny jsou značeny indexem *a* výstupní index *b*. V případech, kdy měřicí člen zpracovává pouze stejnosměrný vstupní signál je pak vstupní člen vybaven ještě usměrňovačem. V některých případech (zvláště u tranzistorových ochran) bývá doplněn svodičem přepětí, které se může ve vstupním signálu vyskytnout a filtrací vstupního signálu pro odstranění vyšších rušivých harmonických.

Zvláštní skupinu tvoří vstupní členy číslicových ochran. Jsou analogově digitální převodníky (A/D), které převádějí v diskrétních časových intervalech analogový signál na číslicový tvar [1].



Obr. č. 3 Příklady realizace vstupních členů ochrany [1]

1.3.2 Popudový člen

V případě vzniku poruchy v elektrizační soustavě v dosahu ochrany podává o ní popudový člen informaci měřicímu členu a logice. Je nutné mít na zřeteli, že ne každá porucha má být odstraněna jedinou ochranou. O tom, zda příslušná porucha patří do kompetence ochrany, rozhodne měřicí člen a logika. Popud zaručí pouze rozběhnutí těchto obvodů. Popudový člen se v podstatě neliší od měřicího členu ani konstrukcí ani funkcí. Může mít obdobnou charakteristiku, avšak není to nutné. Např. u distančních ochranných můžou být popud nadproudový a měřicí člen je impedanční. Popudový člen mívá větší citlivost než měřicí člen [1].

1.3.3 Logika

Logika ochrany má za úkol zpracovat logický signál z popudu a určit blíže funkci měřicího členu. Dále na základě signálu z měřicího členu určit funkci koncového členu (např. pouze signál náběhu ochrany, nebo signalizace a impuls k vypínači).

Všechny vstupy a výstupy logiky jsou booleovské funkce. Proto její strukturu lze vytvořit jako soustavu tří logických funkcí: součtu, součinu a negace.

Můžeme ji realizovat těmito členy:

- klasické pomocné relé,
- jazyčková relé,
- diody s tranzistory,
- integrované obvody,
- programovým vybavením počítače,

Je zřejmé, že se použije takový člen, který odpovídá technologii ochrany [1].

1.3.4 Měřicí člen

Vlastnosti většiny ochran jsou závislé na měřicí členu. Je to např. selektivita, nařiditelnost, citlivost a přesnost. Je zřejmé, že rozdíl mezi měřícím členem napěťové či proudové ochrany není podstatný. Mají společný znak, že měří amplitudu střídavého napětí či proudu. Proto je vhodné analyzovat měřicí členy nikoliv podle měřené fyzikální veličiny, ale podle charakteru funkce.

Předpokládáme, že měřená veličina je periodická funkce, jejímž základními parametry jsou amplituda a fáze. Proto rozeznáváme dva základní typy měřících členů:

- a) amplitudový měřicí člen,
- b) součtový měřicí člen měřící fázi mezi dvěma vstupními veličinami.

Z těchto dvou základních měřících členů jsou odvozeny další. Rozlišujeme celkem šest měřících členů užívaných jak v elektromechanických, tak i tranzistorových ochran.

• Amplitudový měřicí člen

Amplitudový měřicí člen měří velikost vstupního proudu nebo napětí. Při překročení nastavené hodnoty K měřenou veličinou působí (ve výstupu měřícího členu se objeví signál).

Rozlišujeme čtyři typy měřících amplitudových členů:

- a) Střídavý amplitudový měřicí člen na střední hodnotu s rovnicí

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (5)$$

kde K je citlivost (nastavitelná) měřícího členu,
 T je doba periody měřené veličiny $x(t)$,
 $x(t)$ je měřená veličina (napětí nebo proud).

Měřicí člen působí je-li výraz na pravé straně rovnice (5) větší než citlivost K

- b) Střídavý měřicí člen na efektivní hodnotu s rovnicí rovnováhy

$$K^2 = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (6)$$

- c) Stejnoseměrný amplitudový měřicí člen

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (7)$$

- d) Amplitudový měřicí člen na maximální hodnotu

$$K = \max[x(t)] \quad (8)$$

Pro harmonický (sinusový) průběh měřené veličiny, kde $x(t) = X \sin \omega t$ dostáváme citlivost jednotlivých měřících členů:

- a) $K = \frac{2}{\pi} X$
- b) $K = \frac{\sqrt{2}}{2} X = \frac{X}{\sqrt{2}}$
- c) $K = 0$
- d) $K = X$

Amplitudové měřicí členy mohou být přímo použity pro měření:

- proudu (v nadproudových ochranách),
- napětí (v napěťových ochranách),
- výkonu (je-li předřazen převodník výkonu),
- velikost souměrných složek napětí a proudu (je-li předřazen filtr souměrných složek).

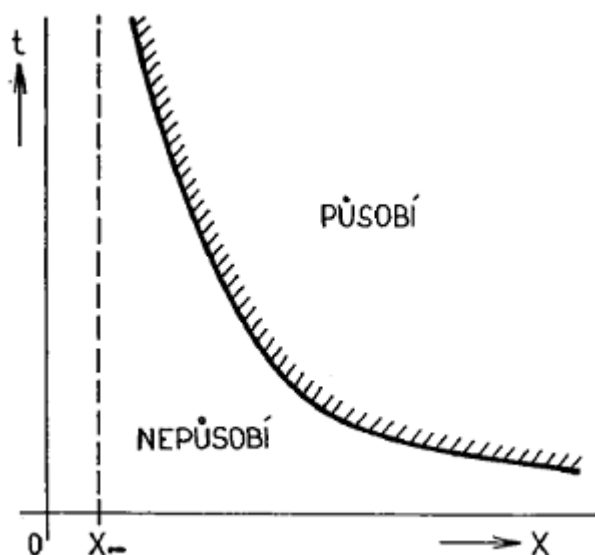
- **Závislý měřicí člen**

Závislý člen má dobu závislou na velikosti vstupní měřené veličiny.

Charakteristika závislého členu měřicího členu je na Obr. č. 4 s rovnicí rovnováhy

$$K^2 = \int_0^t [x(\tau) - X_\infty]^n \frac{1}{2} \{1 + \text{sign}[x(\tau) - X_\infty]\} d\tau$$

Při překročení trvalé dovolené velikosti vstupního signálu $x(t) > X_\infty$ integruje veličinu $x(t)$ a působí v době, kdy její integrál dosáhne (překročí) nastavenou citlivost K . Je-li vstupní veličina $x(t) = X$ konstantní, dostáváme $(X - X_\infty)^n \cdot t = K$.



Obr. č. 4 Charakteristika závislého měřicího členu [1]

$$t = \infty \quad \text{pro } X \leq X_\infty$$

$$t = \frac{K}{(X - X_\infty)^n} \quad \text{pro } X > X_\infty$$

Závislé měřicí členy používáme všude tam, kde vstupní veličina nepoškozuje chráněný objekt přímo svojí velikostí, ale akumulací energie během trvání poruchy. Vybavujeme jimi závislé proudové ochrany proti přetížení. Konstanta K je vlastně určena dovolenou akumulovanou energií při přetížení či zkratu. Realizovat jej můžeme např. dvojkovem, indukční soustavou, případně tepelným obrazem ochráněného zařízení.

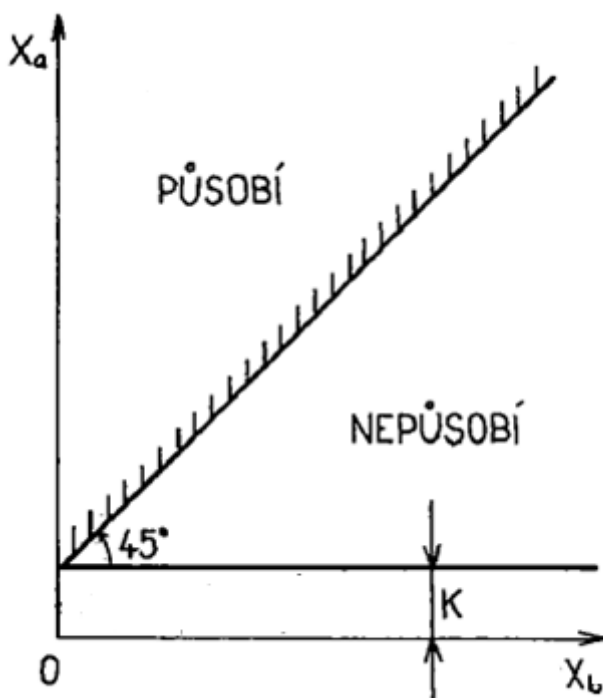
- **Rozdílový měřicí člen**

Porovnává velikost vstupního členu $x_a(t)$ a $x_b(t)$. Působí má-li veličina x_a větší hodnotu než veličina x_b o nastavenou hodnotu K . Rozdílový člen na střední hodnotu má rovnici

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|] dt \quad (9)$$

s charakteristikou na Obr. č. 5, kde X_a , X_b jsou střední hodnoty veličin $x_a(t)$ a $x_b(t)$. Analogicky může být rozdílový měřicí člen i na efektivní hodnotu.

$$K^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|]^2 dt \quad (10)$$



Obr. č. 5 Charakteristika rozdílového měřicího členu [1]

Rozdílové měřicí členy se používají v rozdílových ochranách, kde se srovnávají velikost vstupních veličin.

- **Amplitudový komparátor**

Je speciální případem rozdílového členu s citlivostí $K \rightarrow 0$. Relé A je tzv. nulový indikátor a působí, je-li integrál větší než nula. Rovnice amplitudového komparátoru je tedy

$$\int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|] dt \geq 0 \quad (11)$$

Mají-li vstupní veličiny $x_a(t)$ a $x_b(t)$ harmonický průběh, můžeme pro ustálený stav rovnici (11) přepsat do tvaru

$$|\hat{X}_a| - |\hat{X}_b| \geq 0 \quad (12)$$

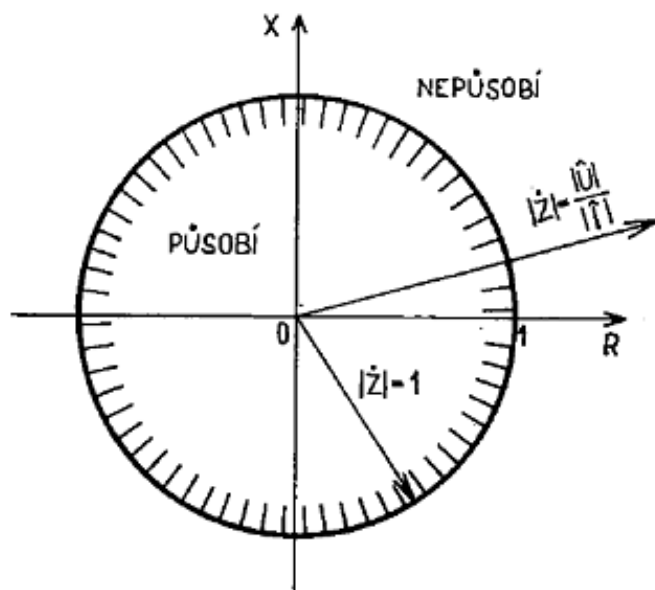
Je-li vstupní veličina $\hat{X}_a = \hat{I}$ a $\hat{X}_b = \hat{U}$ pak rovnice (12) je

$$|\hat{I}| - |\hat{U}| \geq 0 \quad (13)$$

Úpravou dostáváme

$$\left| \frac{\hat{U}}{\hat{I}} \right| = |\dot{Z}| \leq 1 \quad (14)$$

Charakteristika amplitudového komparátoru v komplexní rovině R, X je na Obr. č. 6. Představuje kružnici o poloměru $r = |\dot{Z}| = 1$. Amplitudový komparátor se používá především v distančních ochranách jako popudový nebo měřicí člen.



Obr. č. 6 Charakteristika amplitudového komparátor [1]

- **Součinnový měřicí člen**

Součinnový měřicí člen má rovnici

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x_a(t) \cdot x_b(t) \cdot dt \quad (15)$$

Pro harmonický průběh vstupních veličin $x_a(t) = X_a \cdot \sin \omega t$, $x_b(t) = X_b \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ dostáváme po dosazení do rovnice (15)

$$K = X_a \cdot X_b \cdot \cos \varphi \quad (16)$$

Jsou-li vstupní veličiny napětí a proud měří součinnový člen činný výkon. Používá se jako wattová nebo jalová ochrana nebo jako směrový člen. Můžeme jej realizovat:

- elektrodynamickým nebo indukčním relé,
- analogovým násobením s integrátorem,
- číslicovým násobením.

- **Fázový komparátor**

Fázový komparátor je v podstatě součinnový měřicí člen s velkou citlivostí kde $K \rightarrow 0$. Pak výstup nezávisí (teoreticky) na amplitudách vstupních veličin. Jsou-li vstupní veličiny harmonického průběhu o amplitudách X_a , X_b s fázovým posunem φ , pak rovnici (16) pro oblast působení fázového komparátoru lze přepsat

$$X_a \cdot X_b \cdot \cos \varphi \geq 0$$

Je-li $X_a \neq 0$, $X_b \neq 0$ dostáváme podmínku

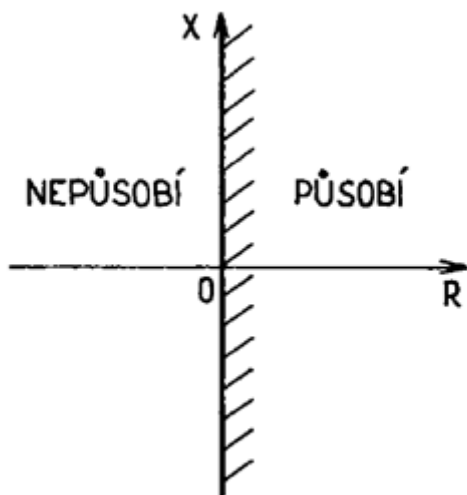
$$\cos \varphi \geq 0 \rightarrow \varphi \leq \pm 90^\circ \quad (17)$$

nebo též

$$\arg \hat{X}_a - \arg \hat{X}_b \leq \pm 90^\circ \quad (18)$$

Fázový komparátor lze použít u srovnávacích ochran, případně jako součást měřícího směrového členu. Jsou-li vstupy harmonické veličiny napětí a proudu, pak podle (18) platí [1]

$$\arg \hat{U} - \arg \hat{I} = \arg \left(\frac{\hat{U}}{\hat{I}} \right) = \arg \hat{Z} \leq \pm \frac{\pi}{2} \quad (19)$$



Obr. č. 7 Charakteristika fázového komparátoru [1]

1.3.5 Časový člen

Prodlužuje dobu působení ochrany. Jeho vstupem je signál z logiky. Časový člen se používá z těchto důvodů:

- a) K zajištění selektivního působení ochran. V principu jde o to, aby záložní ochrany působily později než ochrana, která je určena pro přímé chránění určeného objektu.
- b) Zpožděním doby působení může ochrana dovolit přetížení pokud toto přetížení neohrozí chráněný objekt. Využívá mezní možné akumulace energie ochráněného objektu.
- c) Vyloučení chybného nebo předčasného působení ochrany při přechodných, krátkodobých poruchách např. proudový ráz magnetizačního proudu zapnutí transformátoru [1].

1.3.6 Koncový člen

Koncové členy ochrany jsou nejčastěji pomocná relé s výkonovými kontakty. Na jejich vstup přichází výstupní signál z logiky ochrany. Signál z koncového členu působí např. na vypínací cívku vypínače, signalizuje působení ochran [1].

1.3.7 Napájení ochran

Napájení neboli pohon ochran se provádí jako:

- a) Přímé napájení ze staniční baterie. Používá se nejčastěji neboť akumulátorová baterie při pravidelné údržbě je spolehlivá.
- b) Napájení ze střídavé sítě se u nás nepoužívá neboť může dojít k jeho výpadku
- c) Zvláštní požadavky na napájení jsou kladeny pro ochrany tranzistorové a to proto, aby se nedostal do ochran rušivý signál. Doporučuje se proto použít soustavy - staniční baterie - střídač - galvanické oddělení transformátorem - opět usměrnění se stabilizátorem.
- d) Napájení s přístrojových transformátorů proudu a napětí. Tak např. při napájení z proudového transformátoru pracuje proudový transformátor v normálním provozu nakrátko. Při poruše se zařadí odpor a úbytek napětí na něm se po transformaci na vyšší hodnotu použije pro napájení pomocných obvodů ochran. Jmenovité napětí pro napájení pomocných obvodů se používají tato: 24, 48, 80, 110 a 220 V. Vzhledem k možným úbytkům napětí na kontaktech relé se doporučuje používat napětí větší než 50 V [1].

1.4 Rozdělení ochran

- a) Podle typu chráněného objektu

- vedení
- přípojníc
- generátoru
- motoru
- transformátoru
- speciální

- b) Podle druhu poruchy

- zkratové
- při přetížení
- nadpět'ové
- podpět'ové
- při zemním spojení
- při ztrátě buzení
- při nesymetrii
- frekvenční

c) Podle funkčního principu

- proudové
- napěťové
- rozdílové
- distanční
- wattové
- jalové
- srovnávací
- při nesouměrnosti
- kmitočtové

d) Podle času působení

- okamžité působení
- časově nezávislé
- časově závislé

e) Podle konstrukce

- elektromechanické, ochrany jsou sestaveny převážně z klasických elektrických relé
- elektronické (statické), ochrany jsou sestaveny z polovodičových součástek a integrovaných obvodů, informace o velikosti zpracovávané hodnoty je zobrazena spojitě
- digitální (číslicové), ochrany jsou realizovány mikroprocesory či řídicími počítači, zpracovávají spojitě vstupní veličiny ve formě diskretních číselných hodnot [8]

1.5 Ochrany nadproudové

Nadproudové ochrany jsou používány především pro svoji jednoduchost a projektují se u méně důležitých vedení a případně jako ochrany záložní. Princip působení je odvozen od zvýšeného proudu při přetížení nebo zkratu. Z hlediska jejich působení v závislosti na nadproudu a času rozeznáváme několik typických charakteristik z nichž na Obr. č. 8 jsou uvedeny pro ochranu:

a) závislou, kterou lze popsat rovnicí

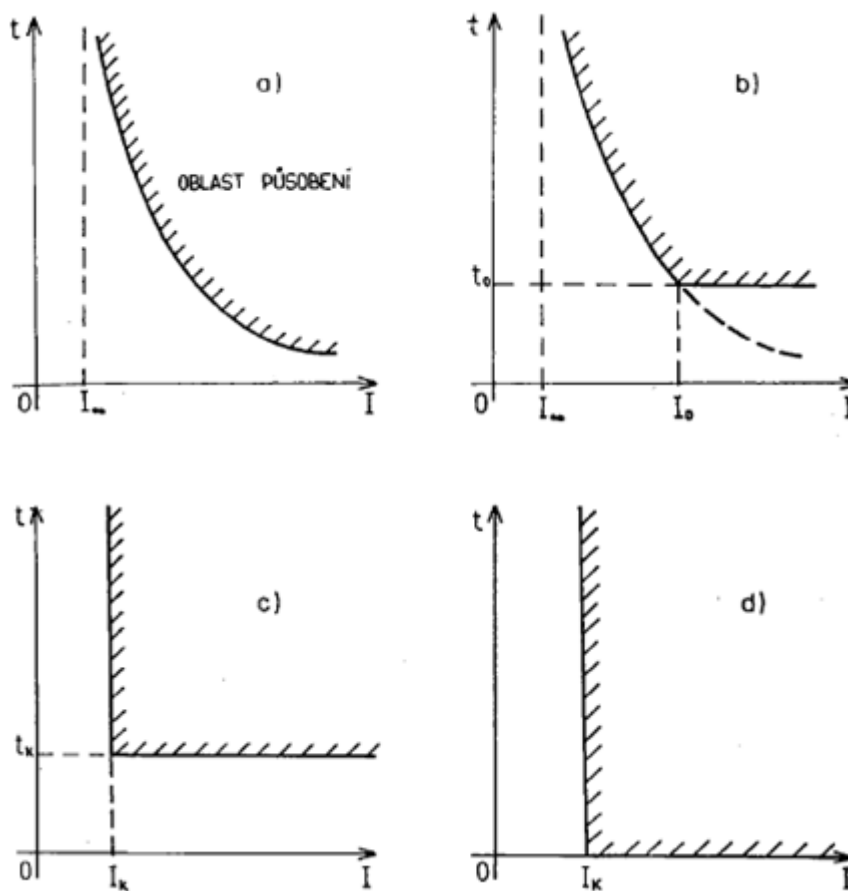
$$t = \frac{K}{(I - I_{\infty})^n} \quad \text{pro } I > I_{\infty} \quad (11)$$

$$t = \infty \quad \text{pro } I \leq I_{\infty} \quad (12)$$

b) polozávislou, která má charakteristiku působení definovanou stejně jako závislá ochrana pouze do velikosti proudu I_0 . Pro větší proudy $I > I_0$ již má konstantní dobu působení tj. působí podobně jako

c) nezávislá nadproudová ochrana. Tato působí v nastaveném čase t_k při dosažení proudu I_k . Při $I > I_k$ doba působení již nezávisí na velikosti proudu I a je konstantní.

d) mžiková ochrana působí při překročení nastaveného proudu I_k bez zpoždění. Zpoždění je prakticky dáno pouze vlastním časem ochrany, který bývá u moderních ochran do 10 ms [1].



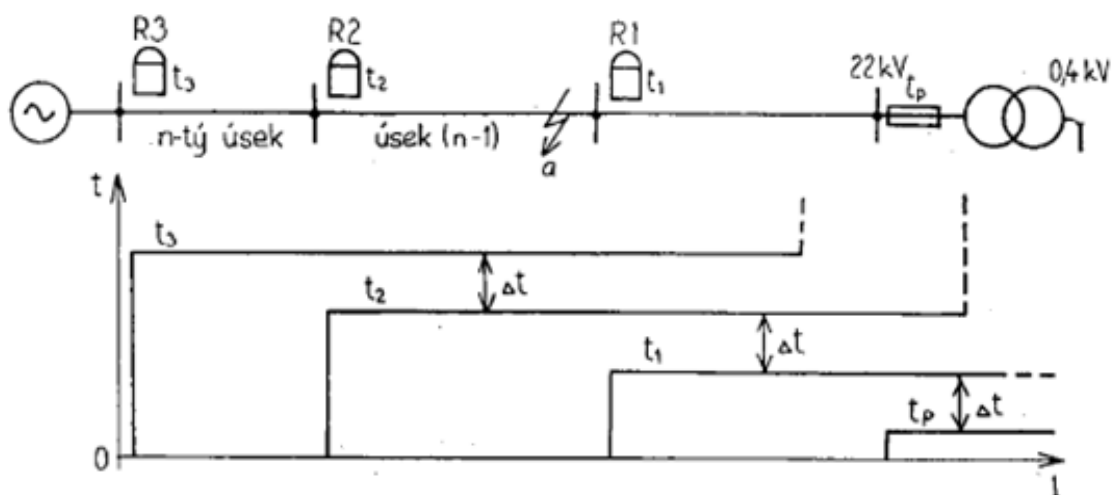
Obr. č. 8 Charakteristiky nadproudových ochran [1]

1.5.1 Nezávislé nadproudové ochrany

Nezávislé nadproudové ochrany jsou nejčastěji používány v radiálních sítích vysokého napětí, kde je řada úseků spojena v sérii. Dále v radiálních sítích, kdy na koncích jednotlivých úseků jsou velikosti zkratových proudů málo rozdílné. Ochrana ležící nejdále od zdroje má nařízen nejkratší čas t_1 . Nicméně musí být tak dlouho, aby v další rozvodné síti např. nn působily pojistky a přitom ochrana R1 nepůsobily viz. Obr. č. 7 se zakresleným vypínacím plánem.

Ochrany ležící blíže ke zdroji (relé R2) nutno nařídit na čas $t_2 = t_1 + \Delta t$ a podobně ochranu R3 na čas $t_3 = t_2 + \Delta t$ atd. Koordinační interval Δt závisí na provedení nadproudového relé, a to zvláště na přesnost zpožďovacího časového členu a u současných nadproudových ochran 0,3 - 0,5 s.

Proudové nastavení měřících členů nutno seřadit tak, aby se ochrany v sousedních úsecích (případně i více úsecích) vzájemně zálohovaly. Tak například při časovém odstupňování ochran podle Obr. č. 9 vznikne-li zkrat v místě a rozbíhá se, při vhodném proudovém nastavení, současně ochrana R2 a R3. Vypnutí provádí ochrana R2 nejbližší zkratu a to v čase t_2 . Teprve při jejím selhání by vypnula ochrana R3 v delším čase t_3 .



Obr. č. 9 Vypínací plán nezávislé nadproudové ochrany [1]

Nevýhodou nezávislých nadproudových ochrany je, že nejtěžší zkraty jsou nejbližší ke zdroji a jsou vypínány nejpозději. Naopak výhodou je, že vhodným proudovým nastavením se mohou vzájemně zálohovat. Např. při nastavení všech ochrany na velikost nejmenšího zkratového proudu na konci vedení nabíhají všechny ochrany od místa zkratu směrem ke zdroji. Při jejich proudovém nastavení však musíme přihlídnout k tomu, že nesmí nabíhat při normálním provozním proudovém zatížení.

Nastavování nadproudových nezávislých ochrany

a) Stanovení stupně Δt časové selektivity

Při návrhu časového odstupňování ochrany se stanoví stupeň časové selektivity (prodlevy) rozdílem časového zpoždění ochrany dvou sousedních úseků

$$\Delta t = t_n - t_{(n-1)} \quad (13)$$

Stupeň časové selektivity Δt musí být takový, aby porucha na předchozím úseku (n-1) byla odpojena dříve, než působí ochrana následujícího n-tého úseku. Má být co nejmenší, aby se snížila úroveň časového zpoždění systému nadproudových ochrany. Při stanovení Δt se uvažuje:

- i) doba vypnutí $t_{v(n-1)}$ vypínače předcházejícího (n-1) úseku (50 - 80) ms,
- ii) celková absolutní největší kladná chyba časového členu ochrany předcházejícího úseku $t_{r(n-1)}$,
- iii) celková absolutní nejvyšší záporná chyba t_m časového členu následující ochrany,
- iv) záložní čas t_z , zahrnující nepřesnosti předcházejících činitelů cca 0,1 s.

Potom

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_m + t_z \quad (14)$$

a v praxi bývá v rozmezí $\Delta t = 0,25 - 0,5$ s podle typu vypínačů a ochrany.

b) Nastavení rozběhového proudu nadproudových nezávislých ochran

Rozběhový proud I_r musí být větší než největší dovolené zatížení vedení a stanoví se následovně

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} \quad (15)$$

kde I_n je největší dovolené zatížení vodičů vedení, popřípadě transformátoru či generátoru,
 k_p je přídržný poměr relé (bývá u elektromechanických relé v rozmezí 0,85 - 0,95),
 k_b je koeficient bezpečnosti a volí se v rozmezí 1,1 - 1,35,
 p_i je jmenovitý převod jistících transformátorů proudu.

Dále rozběhový proud I_r nadproudového relé musí být menší než nejmenší očekávaný zkratový proud na konci chráněného úseku pro omezený provozní stav zapojení sítě. U sítě vn, které jsou u nás zpravidla provozovány izolovaně (s izolovaným uzlem transformátoru nebo uzemněným přes Petersonovu cívku) je nejmenší zkratový proud při dvoupólovém izolovaném zkratu.

Aby relé při nejmenším zkratovém proudu na konci chráněného úseku spolehlivě nabíhalo, musí být splněna podmínka

$$I_r < \frac{I_{k \min}}{k_c \cdot p_i} \quad (16)$$

kde $I_{k \min}$ je nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku, kde konec chráněného úseku je dán délkou zálohování. Např. pro ochranu R3 je to alespoň úsek k ochraně R1,
 k_c je koeficient citlivosti nadproudových ochran a volí se zpravidla na základě praktických zkušeností $k_c \geq 1,5$.

Na první pohled se zdá, že je to zbytečně vysoká rezerva v nastavení nadproudové ochrany. Musíme však uvážit, že zapojení vlastní rozvodné sítě včetně zapojení zdrojů se v důsledku revizí, generálních oprav a nahodilých poruch stále mění. V důsledku toho se i mění velikosti zkratových proudů. Proto hodnota koeficient citlivosti k_c je volena na základě dlouholetých zkušeností a zkratových výpočtů ochranářů.

c) Koordinace proudového nastavení ochran v úsecích řazených za sebou

Zde platí zásada, že ochrana blíže ke zdroji nesmí být citlivější než ochrany dalších, vzdálenějších úseků. Nastavení by mělo vyhovět podmínce, za předpokladu, že síť má pouze jeden zdroj

$$I_{rn} = (1,1 \div 1,3) I_{r(n-1)} \quad (17)$$

kde I_{rn} , $I_{r(n-1)}$ je proudové nastavení ochrany v úseku n a $(n-1)$

Při proudovém nastavení ochran musíme uvažovat zkratový proud, který v místě připojení ochrany skutečně protéká (tzv. koeficient větvení) např. při chránění paralelních vedení [1].

1.5.2 Podpět'ové odblokování nadproudových ochran

Selektivitu nadproudových nezávislých ochran můžeme zvětšit blokováním podpět'ovou ochranou. Znamená to, že nadproudová ochrana vypíná tehdy, klesne-li napětí v místě jejího připojení pod nastavenou velikost. Pokles napětí je závislý na vzdálenosti místa zkratu. Nastavení působení podpět'ové ochrany je teoreticky určeno vztahem

$$U_r \leq \left| \frac{\dot{Z}_l}{\dot{Z}_s + \dot{Z}_l} \right| U_i \quad (18)$$

kde U_r je rozběhová hodnota podpět'ového relé při zkratu na konci chráněného úseku o impedanci Z_l ,

Z_s náhradní impedance napájecí soustavy,

U_i je vnitřní napětí náhradního zdroje soustavy.

V praxi rozběhové napětí podpět'ového relé musí splňovat tyto podmínky:

a) Ochrana nesmí působit při minimálním pracovním napětí U_{\min} v místě jejího připojení.

b) Má spolehlivě pracovat při zkratech po celé délce chráněného úseku vedení.

Pro splnění první podmínky musí být rozběhové napětí podpět'ového relé menší jako minimální pracovní napětí U_{\min} a současně se podpět'ové relé musí po odstranění poruchy vrátit do klidové polohy. Pak rozběhové napětí s uvažováním přídržného poměru je určeno vztahem

$$U_r < \frac{k_p \cdot U_{\min}}{k_b \cdot p_n} \quad (19)$$

kde k_p a k_b jsou přídržný poměr a koeficient bezpečnosti,

p_n je převod transformátoru napětí.

Koeficient bezpečnosti se doporučuje 1,1 - 1,2. Udává-li výrobce přídržný poměr ve smyslu definice

$$k_p = \frac{U_0}{U_r} \quad (20)$$

pak přídržný poměr u podpět'ového relé $k_p > 1$ a rovnice (19) má koeficient k_p místo v čitateli ve jmenovateli. Pro odblokování podpět'ové ochrany musí platit podmínka b), kterou lze zapsat rovnicí

$$U_r > k_c \frac{U_{k \max}}{p_n} \quad (21)$$

kde $U_{k \max}$ je největší napětí v místě připojení ochrany při zkratu na konci chráněného úseku,

k_c je koeficient citlivosti, který na základě výpočtů a zkušeností by měl být větší než 1,5.

Zkušenosti ukazují, že u vedení dlouhých, napájených z velkých zdrojů je citlivost podpět'ových relé nedostatečná. Proto nadproudové nezávislé ochrany s odblokováním na podpětí jsou vhodné pro vedení elektricky krátká. Dále nejsou vhodné pro sítě s velkými asynchronními motory. Tam vyhoví pouze ochrany distanční nebo rozdílové.

Nadproudová ochrana s blokováním na podpětí nepůsobí při přetíženích, která nejsou doprovázena snížením napětí. Proto je citlivější na zkratové proudy než obyčejná nadproudová ochrana. Je vhodné tedy na silně zatížená krátká vedení [1].

1.5.3 Závislé nadproudové ochrany

U nezávislých nadproudových ochran je časové zpoždění na začátku a konci chráněného úseku konstantní. Máme-li selektivně chránit vedení složené z mnoha úseků, dostáváme nepříjemně dlouhé vypínací časy u zdrojů. Výhoda závislé ochrany spočívá především v tom, že zkracuje dobu vypnutí na začátku vedení.

Volme např. charakteristiku nadproudové závislé ochrany takto:

$$(I - I_{\infty})t = K \quad (21)$$

kde I_{∞} je určeno jmenovitým proudem chráněného objektu,

K je nastavení ochrany,

Zkratový proud na začátku chráněného úseku, je-li Z_s impedance napájecí soustavy, je

$$I_z = \frac{U_i}{Z_s} \quad (22)$$

a na konci chráněného úseku o impedanci Z_l

$$I_k = \frac{U_i}{|\dot{Z}_s + \dot{Z}_l|} \quad (23)$$

Pro zjednodušení další úvahy zvolme $I_{\infty} = 0$. Potom vypínací čas na začátku a konci chráněného úseku je

$$t_z = \frac{K}{I_z} = \frac{K \cdot Z_s}{U_i} \quad ; \quad t_k = \frac{K}{I_k} = \frac{K \cdot |\dot{Z}_s + \dot{Z}_l|}{U_i} \quad (24)$$

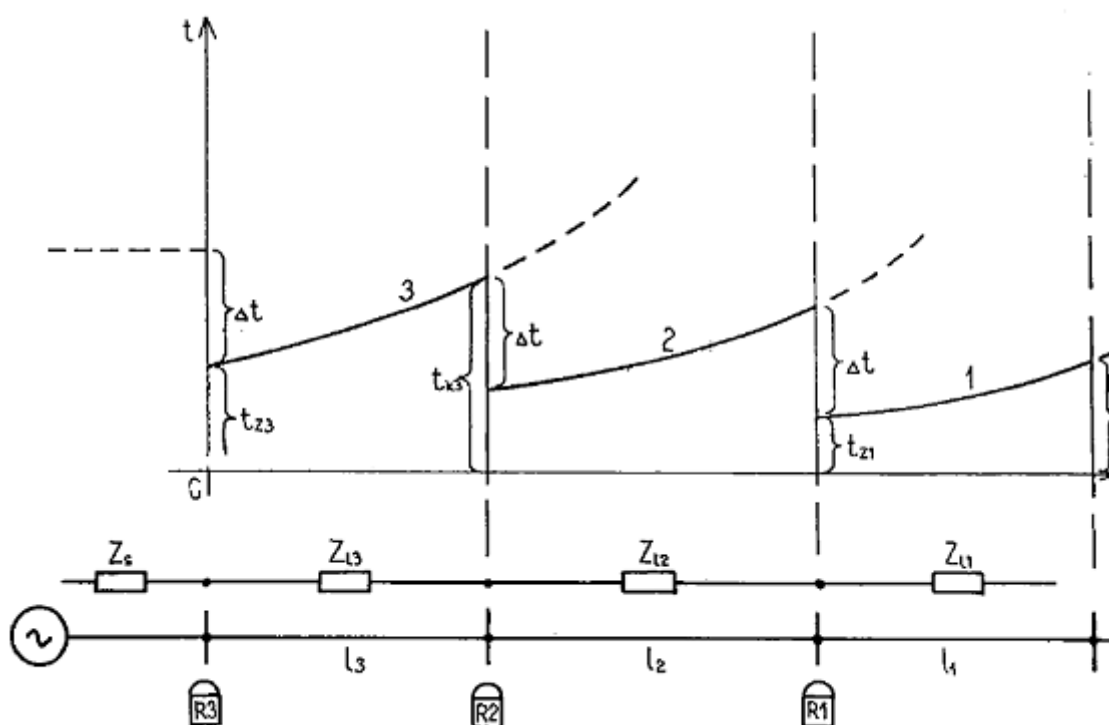
a poměr doby vypnutí zkratu na začátku a konci chráněného úseku bude

$$\frac{t_z}{t_k} = \left| \frac{\dot{Z}_s}{\dot{Z}_s + \dot{Z}_l} \right| \quad (25)$$

U nezávislé nadproudové ochrany je čas na začátku a konci chráněného úseku konstantní a to minimálně t_k . Výhoda závislé ochrany je v tom, že zkracuje dobu vypnutí na začátku linky, tudíž těžší zkraty blíže zdroji budou vypínány v čase menším než t_k . Toto vznikne pouze tehdy, je-li $Z_l \geq Z_s$ jak vyplývá z rovnice (25).

Příklad chráněného paprskového vedení závislými nadproudovými ochranami je na Obr. č. 10.

Také zde musíme volit časové odstupňování jednotlivých ochran proti sobě, abychom dosáhli požadované selektivity. Závislé nadproudové ochrany se používají nejčastěji v paprskových sítích vn, kde je uzel transformátorů uzemněn přes odpor [1].



Obr. č. 10 Vypínací plán závislých nadproudových ochran [1]

Všeobecně nelze na úsecích jednoho paprsku vzájemně kombinovat nadproudová závislá relé s nezávislými, protože jejich vypínací charakteristiky by se mohly vzájemně protínat, což by vedlo k chybnému vypínání. Z těchto důvodů se u nás nejčastěji používají ochrany nezávislé, kde je vypínací čas přesně definován a mění se s proudem. Tím se vyhneme potížím při dodržení selektivity nadproudových ochran [1].

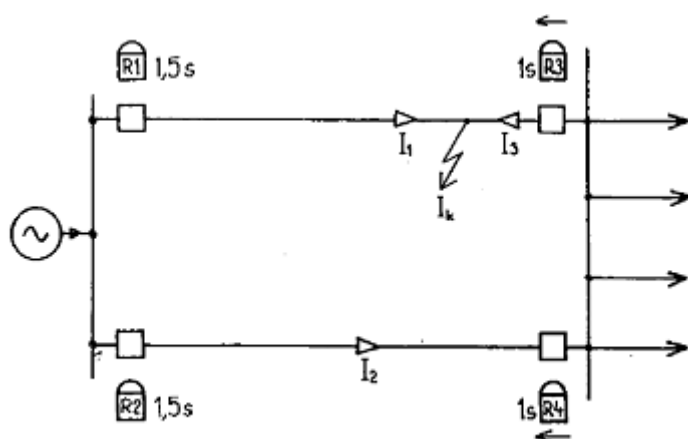
1.5.4 Směrové nadproudové ochrany

Směrové nadproudové ochrany se používají v sítích, kde místo zkratu může být napájeno ze dvou stran. Při použití nadproudových ochran bez směrových členů by v tomto případě docházelo k neselektivnímu vypínání jak vyplývá z Obr. č. 11.

Nechť zkrat nastal mezi relé R1 a R3. Pokud by nadproudové ochrany byly pouze na začátku paralelních vedení, tj. ochrany R1, R2, došlo by k vypnutí jednoho neporušeného vedení. Doplníme-li konce paralelních vedení nadproudovými relé R3, R4 situace zůstává obdobná. Proto je nutné použít ochrany R3, R4 vybavené směrovým článkem. Směrový článek uvolňuje vypnutí, je-li tok energie ve směru šípky (viz Obr. č. 11), jinak blokuje vypínací impuls od nadproudového článku.

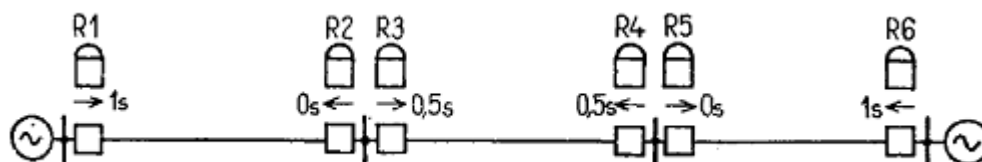
Přitom je nutné seřízení ochran takové, že při zkratu v označeném místě nabíhají nadproudové články všech ochran. Ochrany pak nastavené podle Obr. č. 11 působí následovně:

- Ochrana R3 vybaví vypínač v čase $t = 1$ s, přičemž působení ochrany R4 je blokováno směrovým členem,
- Ochrana R2 přechází do klidového stavu neboť z jejího pohledu zkratový proud zanikl,
- Zkratovou poruchu definitivně vypíná ochrana R1 s časem působení 1,5 s. Zkratem nepostižené vedení zůstává v provozu.



Obr. č. 11 Vypnutí zkratu pomocí směrových nadproudových ochran [1]

Je-li vedení napájeno z obou stran, nebo jde-li o vedení okružní, je nutno použít ve všech úsecích směrových nadproudových ochran, jak vyplývá z Obr. č. 12, kde je uveden příklad nastavení časového členu. Pro zvolené časové nastavení můžeme vypustit směrový člen u relé R1, R2, pokud to dovolí provozní podmínky napáječů A, B. Podobně u R3 a R4 [1].



Obr. č. 12 Nastavení časového členu směrových nadproudových ochran [1]

Směrový článek bývá konstruován jako součinnový měřicí člen. U elektromechanických ochran to je obvykle elektrodynamické či indukční relé měřící směr toku jalového, případně činného výkonu. Požaduje se u nich velká citlivost. Vznikne-li např. trojpolový zkrat v blízkosti jeho připojení, zhroutí se napětí a relé přestává pracovat, neboť přivedený výkon je nulový. Proud tekoucí relé je sice značný, avšak vzhledem k malému, až nulovému napětí se součinnový člen nerozeběhne. Teprve při jisté vzdálenosti zkratu od místa připojení ochrany dojde ke zvýšení napětí a součinnový (směrový) člen začíná působit. Tato elektrická vzdálenost se nazývá „mrtvé pásmo“, ve kterém směrový člen nepůsobí. Výrobci zpravidla udávají rozběhovou citlivost směrového relé vyjádřenou v % jmenovitého výkonu. Jmenovitý výkon je např. pro 5 A a 100 V roven 500 VA.

V praxi se pro směrová nadproudová relé používají relé nezávislá, tj. s konstantním časovým zpožděním. Proudové nastavení se provádí obdobně jako u nezávislých nadproudových relé a časové nastavení podle zásad selektivního působení uvedených v předchozím.

Při proudovém nastavování je nutno uvažovat tzv. koeficient větvení zkratového proudu, který respektuje jeho rozdělení do paralelních větví, případně přídatné zdroje (přídatné napájení) v některém úseku. Tak např. koeficient větvení pro schéma na Obr. č. 11 pro relé R1 až R4 je

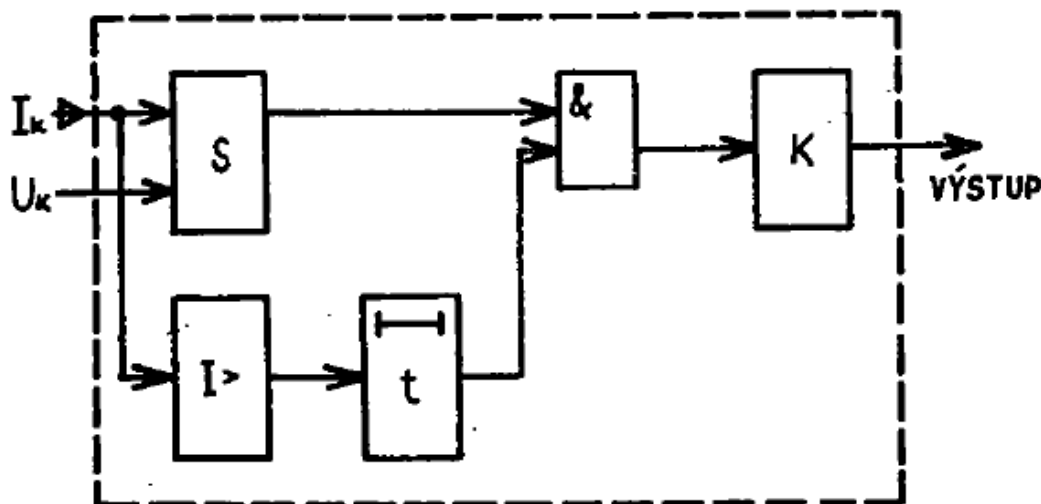
$I_z = \frac{1}{2}$. Jeho nejnepríznivější velikost se musí vypočítat pro dané schéma.

Rovnice (17) pak při koordinaci proudového nastavení nadproudových ochran má tvar

$$I_{rn} = (1,1 \div 1,3) \frac{I_r (n-1)}{k_v} \quad (26)$$

Blokové schéma směrového nadproudového časově nezávislého relé je na Obr. č. 13,

kde S je směrový člen,
 $I>$ měřící proudový člen,
 t je časový člen,
 K je koncový člen [1].



Obr. č. 13 Blokové schéma směrového nadproudového časově nezávislého relé [1]

1.5.5 Mžikové nadproudové ochrany

Mžikové nadproudové ochrany jsou vhodné u radiálních vedení, které mají velké délky (impedance) jednotlivých ochráněných úseků a prakticky konstantních (tvrdé) napětí napáječe. Značně rozdílné zkratové proudy na koncích jednotlivých chráněných úseků jsou podmínkou pro jejich selektivní působení. Mžiková ochrana však z důvodů selektivity nemůže chránit celou délku vedení, což je její nevýhoda. Úsek vedení chráněný touto ochranou se stanoví podle vztahu

$$x = \frac{X}{X_b} = \frac{1}{X_b} \left(\frac{U_f}{I_r} - X_s \right) \quad (27)$$

kde x, X je poměrná respektive skutečná reaktance chráněného úseku (dosah ochrany),
 X_b je celková reaktance chráněného vedení o délce l ,
 I_r je proud nastavený na ochraně převedený na primární stranu transformátoru proudu,
 U_f je fázové napětí na přípojnících, ze kterých odchází chráněné vedení,
 X_s je reaktance systému na přípojnících, z kterých odchází chráněné vedení. Jinými slovy je to reaktance náhradního zdroje napájecího systému.

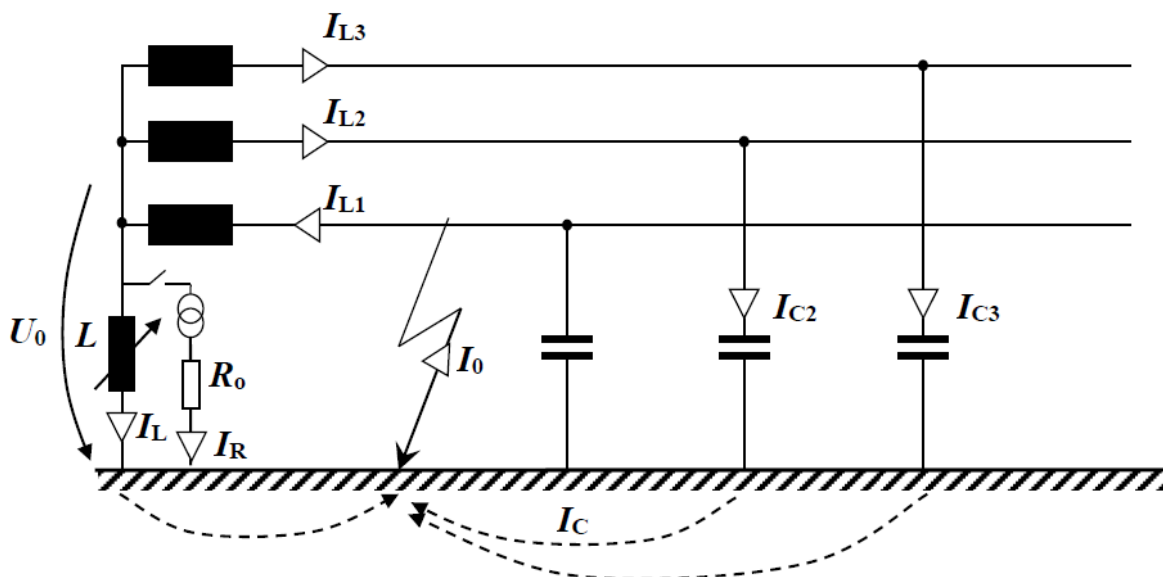
Pro nastavení rozběhového proudu má být splněna podmínka

$$\frac{k_b \cdot I_{k \max}}{p} \geq I_r \leq \frac{I_{k \min}}{k_c \cdot p} \quad (28)$$

kde $I_{k\max}$ je počáteční rázový zkratový proud při trojpólovém zkratu na konci chráněného úseku vedení,
 $I_{k\min}$ je nejmenší zkratový proud (při dvoufázovém zkratu) v blízkosti ochrany,
 k_b je koeficient bezpečnosti a volí se pro vedení 1,4 až 1,5
 k_c je koeficient citlivosti a doporučuje se hodnota větší než 2 [1].

1.6 Zemní ochrana

Zemní spojení může nastat v sítích s izolovaným uzlem transformátoru anebo spojených se zemí přes velkou impedanci. Takto je u nás provozována většina sítí vysokého napětí, které jsou jednostranně napájené. Zemní spojení je doprovázeno výrazným poklesem fázového napětí postižené fáze, zvýšením fázových napětí ve zdravých nepostižených fázích přibližně na velikost sdruženého napětí. Dále pak vznikem nulové složky proudu, jenž je třetinou poruchového proudu tekoucího místem zemního spojení.



Obr. č. 14 Zjednodušené schéma vedení se zemní poruchou [5]

Kompenzované systémy jsou uzemněny přes tlumivku s proměnou impedancí, která kompenzuje kapacitu mezi fázemi a zemí celého systému. Rezonanční uzemnění zajistí samozhášení oblouku na vedeních přibližně v 80 % poruch. K detekci zemního spojení v kompenzovaných sítích používáme wattové relé, které měří součin $U_0 \cdot I_0 \cdot \cos\varphi_0$. U těchto sítí protéká místem zemního spojení pouze malý zbytkový proud, jehož velikost závisí na odporech kompenzační tlumivky, vedení a transformátoru. Pro zvýšení činného proudu se při zemním spojení na krátkou dobu připojuje paralelně k tlumivce odporník.

Neuzemněné systémy jsou spojeny se zemí pouze přes kapacity jednotlivých fází vůči zemi. Samozhášení oblouku zemních poruch je možné jen pro malé hodnoty poruchových proudů. Zemní spojení je v nekompenzovaných sítích detekováno pomocí jalového relé, které měří součin $U_0 \cdot I_0 \cdot \sin\varphi_0$ [5].

2 TEORETICKÝ ROZBOR VÝPOČTU ZKRATOVÝCH PROUDŮ

2.1 Definice pojmů

Zkrat - náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodivými částmi vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízko nule.

Mezifázový zkrat - náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodiči se spojením na zemi nebo bez něj.

Zkrat mezi fází a zemí - náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi vodičem a zemí v soustavě s uzlem uzemněným přímo nebo přes malou impedanci.

Zkratový proud - nadproud v důsledku zkratu v elektrické soustavě.

Předpokládaný zkratový proud - proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen ideálním spojením se zanedbatelnou impedancí bez změny napájení.

Souměrný zkratový proud - efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbatelnou eventuální aperiodickou složkou proudu.

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k'' - efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci.

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon S_k'' - pomyslná hodnota definovaná jako součin počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' , jmenovitého napětí U_n a součinitele $\sqrt{3}$.

$$\text{Pak tedy } S_k'' = \sqrt{3} U_n I_k'' \quad (29)$$

Stojnosměrná (aperiodická) složka $i_{d.c.}$ zkratového proudu - střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu klesající ze své počáteční hodnoty k nule.

Nárazový zkratový proud i_p - maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu.

Souměrný zkratový vypínací proud i_b - efektivní hodnota úplné periody souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení.

Ustálený zkratový proud I_k - efektivní hodnota zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodného děje.

Jmenovité napětí sítě U_n - sdružené napětí, kterým je síť označena a k němuž se vztahují provozní charakteristiky.

Napětí ekvivalentního zdroje $cU_n/\sqrt{3}$ - napětí ideálního zdroje přiložené v místě zkratu v sousledné složkové soustavě pro výpočet zkratového proudu, jedná se o jediné aktivní napětí sítě.

Napětíový součinitel c - poměr mezi napětím ekvivalentního napětíového zdroje a jmenovitým napětím sítě U_n děleným $\sqrt{3}$.

Elektrický vzdálený zkrat - zkrat, při kterém velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní.

Elektrický blízký zkrat - zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5 % počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' bez motoru [3].

2.2 Druhy zkratů

Jsou-li zkratem postiženy současně všechny tři fáze, mluvíme o zkratu souměrném - trojfázovém nebo trojfázovém zemním. Všechny ostatní zkraty se nazývají nesouměrné a patří k nim zejména: dvoufázový zkrat, dvoufázový zemní zkrat a jednofázový zkrat.

Obr. č. 15 ukazuje schematické znázornění zkratů a pravděpodobnost jejich výskytu.

U venkovních vedení se trojfázový zkrat vyskytuje poměrně málo. V kabelových sítích je naopak nejvíce zkratů trojfázových (ostatní druhy poruch působením oblouku přecházejí snadno v trojfázové).

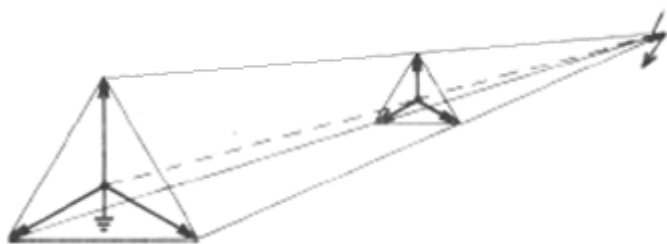
Vzniku zkratu nemůžeme vždy zabránit. Je sice možné účelným uspořádáním elektrického zařízení a jinými vhodnými opatřeními omezit vznik zkratu na nejmenší míru, avšak předem vyloučit všechny příčiny a nešťastné náhody, které způsobují zkrat, není možné. Proto je nutné dimenzovat každé elektrické zařízení tak, aby bylo ve všech svých částech odolné vůči účinkům zkratového proudu všech druhů zkratů.

Nepříznivé účinky poruchových proudů způsobují oteplení zařízení, silové namáhání, problémy s přerušením proudu vypínačem, porušení synchronismu paralelně spolupracujících soustav, znemožnění řádného chodu spotřebičů, rušení sdělovacích vedení apod.

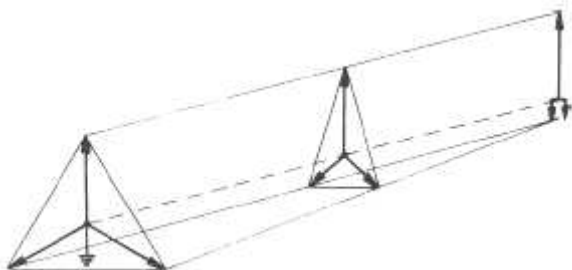
DRUH ZKRATU	SCHÉMA	PRAVDĚPODOBNOST VÝSKYTU [%]		
		V_n	110 kV	220 kV
TROJFÁZOVÝ		5	0,6	0,9
DVOUFÁZOVÝ		10	4,8	0,6
DVOUFÁZOVÝ ZEMNÍ		20	3,8	5,4
JEDNOFÁZOVÝ		*)	91	93,1
*) V SÍTÍCH V_n , KTERÉ SE ZPRAVIDLA PROVOZUJÍ S UZLEM IZOLOVANÝM NEBO NEPŘÍMO UZEMNĚNÝM, SE TATO PORUCHA KVALITATIVNĚ LIŠÍ OD ZKRATU A NAZÝVÁ SE ZEMNÍ SPOJENÍ				

Obr. č. 15 Druhy zkratů [6]

Změnu napětí od přípojnic konstantního symetrického napětí do místa trojfázového zkratu v soustavě vysvětluje Obr. č. 16. Změnu napětí do místa dvoufázového zkratu znázorňuje Obr. č. 17 [6].



Obr. č. 16 Změna napětí při třífázovém zkratu [6]

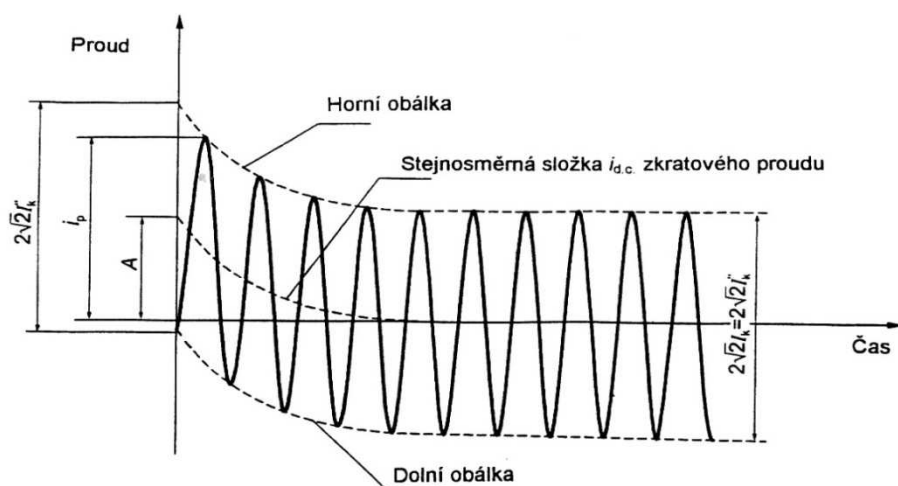


Obr. č. 17 Změna napětí při dvoufázovém zkratu [6]

2.3 Charakteristiky zkratových proudů: výpočetní metoda

2.3.1 Všeobecně

Kompletní výpočet zkratových proudů určuje proudy jako funkce času v místě zkratu od počátku zkratu až do jeho konce. Zkratové proudy odpovídají okamžité hodnotě napětí na počátku zkratu Obr. č. 18 a Obr. č. 19.



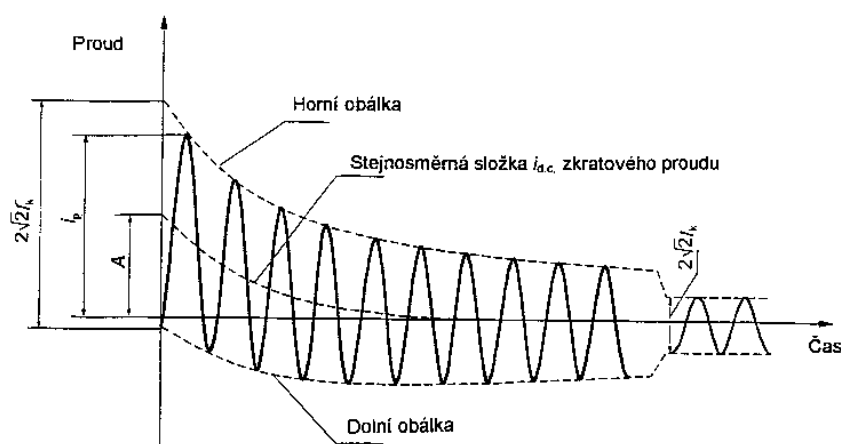
Obr. č. 18 Zkratový proud elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou [3]

kde I_k'' je počáteční souměrný rázový zkratový proud,
 i_p je nárazový zkratový proud,
 I_k je ustálený zkratový proud,

$i_{d.c.}$ je stejnosměrná složka zkratového proudu,
 A je počáteční hodnota stejnosměrné složky $i_{d.c.}$

Ve většině praktických případů takový výpočet není nutný. Podle použití výsledků nás zajímá efektivní hodnota souměrné střídavé složky a nárazový zkratový proud i_p zkratového proudu po vzniku zkratu. Nejvyšší hodnota i_p závisí na časové konstantě zanikající aperiodické složky a kmitočet f , tedy na poměru R/X a X/R zkratové impedance Z_k a s určitou přibližností lze předpokládat, že je jí dosahováno tehdy, jestliže zkrat začíná v okamžiku, kdy napětí prochází nulou. Proud i_p též závisí na klesající souměrné střídavé složce zkratového proudu.

V mřížových sítích je několik časových konstant. Z toho důvodu není možné určit zcela přesnou metodu výpočtu i_p a $i_{d.c.}$



Obr. č. 19 Zkratový proud elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou [3]

kde I_k je počáteční souměrný rázový zkratový proud,
 i_p je nárazový zkratový proud,
 I_k je ustálený zkratový proud,
 $i_{d.c.}$ je stejnosměrná složka zkratového proudu,
 A je počáteční hodnota stejnosměrné složky $i_{d.c.}$ [3].

2.3.2 Předpoklady k výpočtu

Výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů vychází z následujícího zjednodušení:

- Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, tj. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým a zkrat mezi fází a zemí zůstává po celou dobu zkratu zkratem mezi fází a zemí.
- Po dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti.
- Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze. To je přípustné, protože je zaveden korekční součinitel pro impedance K_T pro síťové transformátory.
- Odpory oblouků se neuvažují.
- Všechny kapacity vedení a paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě.

Výpočty zajišťují dostatečnou přesnost výsledků, i když tyto předpoklady pro uvažované elektrické soustavy neodpovídají zcela přesně dané skutečnosti.

Pro souměrné a nesouměrné zkraty je vhodné počítat zkratové proudy pomocí metody souměrných složek.

Impedance zařízení v sítích vyšších a nižších napětí musí být vyděleny nebo vynásobeny čtvercem jmenovitého převodu transformátoru t_r . Napětí a proudy musí být přepočteny jmenovitým převodem transformátoru t_r [3].

2.3.3 Metoda výpočtu souměrných složek

Výpočet hodnot proudů v trojfázových střídavých soustavách při souměrných a nesouměrných zkratech se zjednoduší použitím souměrných složek. Předpokládá se přitom, že elektrické zařízení má symetrickou strukturu, například v případě transponovaných venkovních vedení. Výsledky výpočtu zkratových proudů mají přijatelnou přesnost také i v případě netransponovaných venkovních vedení.

Při použití této metody se zjistí proudy v každé fázi superponovaných proudů tří souměrných složkových soustav:

- proud sousledné složkové soustavy $\underline{I}_{(1)}$;
- proud zpětné složkové soustavy $\underline{I}_{(2)}$;
- proud netočivé složkové soustavy $\underline{I}_{(0)}$.

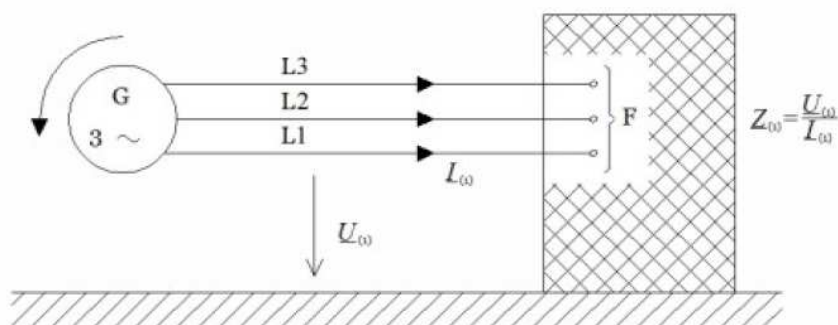
Budeme-li fázi L1 považovat za referenční, potom jsou proudy \underline{I}_{L1} , \underline{I}_{L2} a \underline{I}_{L3} [3].

$$\underline{I}_{L1} = \underline{I}_{(1)} + \underline{I}_{(2)} + \underline{I}_{(0)} \quad (30)$$

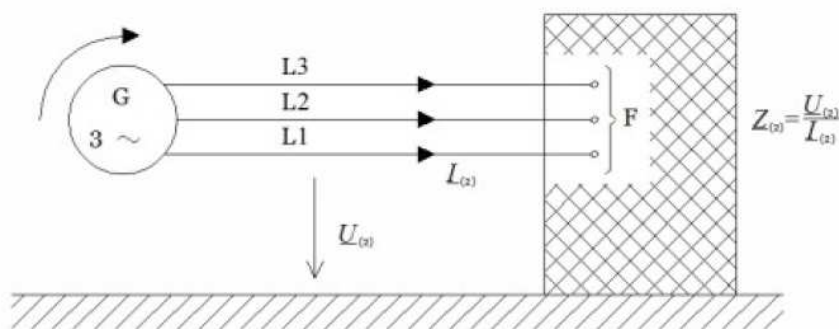
$$\underline{I}_{L2} = \underline{a}^2 \underline{I}_{(1)} + \underline{a} \underline{I}_{(2)} + \underline{I}_{(0)} \quad (31)$$

$$\underline{I}_{L3} = \underline{a} \underline{I}_{(1)} + \underline{a}^2 \underline{I}_{(2)} + \underline{I}_{(0)} \quad (32)$$

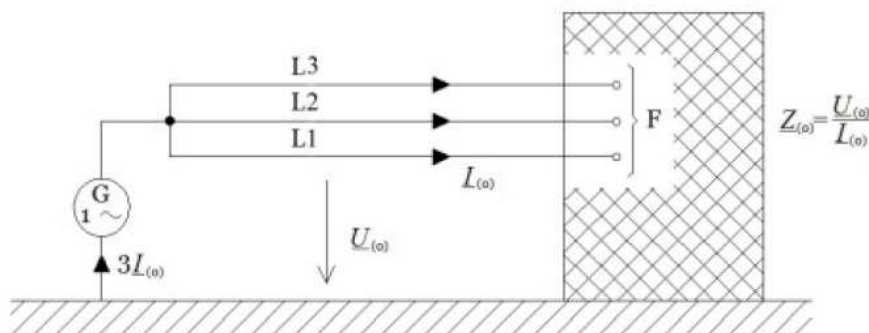
$$\underline{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad ; \quad \underline{a}^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad (33)$$



Obr. č. 20 Sousledná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(1)}$ [3]



Obr. č. 21 Zpětná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(2)}$ [3]



Obr. č. 22 Netočivá složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(0)}$ [3]

2.3.4 Maximální zkratové proudy

Při výpočtu maximálních zkratových proudů je nutné zvolit následující podmínky:

- pro výpočet maximálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel c_{\max} ,
- vybrat konfiguraci soustavy a maximální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k maximální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu nebo pro přijaté dělení sítě pro omezení zkratového proudu,
- pokud je použita ekvivalentní impedance \underline{Z}_0 jako reprezentující vnější sítě, musí se použít minimální ekvivalentní zkratová impedance, která odpovídá maximálnímu příspěvku zkratových proudů od síťových napáječů,
- motory musí být zahrnuty podle potřeby,
- uvažují se rezistence R_L vedení (venkovních vedení a kabelů) při teplotě 20 °C [3].

2.3.5 Minimální zkratové proudy

Při výpočtu minimálních zkratových proudů je nutné zvolit následující podmínky:

- pro výpočet minimálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel c_{\min} ,
- vybrat konfiguraci soustavy a minimální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k minimální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu,
- motory musí být zanedbány,

- rezistence R_L vedení (venkovních vedení a kabelů, vodičů a střeňích vodičů) se musí uvažovat při nejvyšší teplotě:

$$R_L = [1 + \alpha(\theta_e - 20^\circ \text{C})] R_{L20} \quad (34)$$

kde R_{L20} je rezistence při teplotě 20°C ,

θ_e je teplota vodiče ve stupních Celsia na konci zkratu,

α je součinitel rovný $0,004/\text{K}$, platný s dodatečnou přesností pro praktické účely pro měď, hliník a slitinu hliníku [3].

Tab. č. 1 Napěťový součinitel c [3]

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	Maximálních zkratových proudů c_{max} ¹⁾	Minimálních zkratových proudů c_{min}
Nízké napětí 100 V až 1000 V	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
Vysoké napětí >1 kV až 35 kV	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí ²⁾ > 35 kV		

¹⁾ $c_{max} U_n$ nesmí překročit nejvyšší napětí U_m pro zařízení energetických soustav.

²⁾ Pokud není jmenovité napětí definováno potom $c_{max} U_n = U_m$ nebo $c_{min} U_n = 0,90 \cdot U_m$.

³⁾ Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +6%, např. pro soustavy přecházející z 380 V na 400V.

⁴⁾ Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +10%

2.4 Zkratové impedance elektrických zařízení

Soustava:

$$Z_{(i)} = \frac{c U_n}{\sqrt{3} I_k''} = \frac{c U_n^2}{\sqrt{3} S_k''} \quad [\Omega; -, \text{kV}, \text{kA}] \quad (35)$$

kde c je napěťový součinitel,

U_n je jmenovité napětí sítě,

I_k'' je počáteční rázový zkratový proud,

S_k'' je zkratový výkon soustavy.

Dvouvinut'ový transformátor:

$$Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega; \%, \text{kV}, \text{kA}] \quad (36)$$

$$R_{(1)} = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{S_{nT}} \quad [\Omega; \text{kW}, \text{kV}, \text{kA}] \quad (37)$$

$$X_{(1)} = \sqrt{Z_{(1)}^2 - R_{(1)}^2} \quad [\Omega] \quad (38)$$

kde u_k je jmenovité napětí nakrátko,
 U_{nT} je jmenovité napětí transformátoru,
 S_{nT} je jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru,
 P_{knT} je jmenovité ztráty nakrátko.

Reaktor:

$$Z_{R(1)} = \frac{u_{kR} \cdot U_n}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{rR}} \quad [\Omega; \%, \text{kV}; \text{kA}] \quad (39)$$

kde u_{kR} je impedanční napětí na reaktoru,
 I_{rR} je jmenovitý proud reaktoru,
 U_n je jmenovité napětí sítě.

Vedení:

$$Z_{(1)} = R_k \cdot l \quad [\Omega; \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \text{km}] \quad (40)$$

$$X_{(1)} = X_k \cdot l \quad [\Omega; \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \text{km}] \quad (41)$$

kde l je délka vedení,
 R_k je rezistence vedení na 1 km délky,
 X_k je reaktance vedení na 1 km délky.

Přepočet na napěťovou hladinu v místě zkratu:

$$Z_2 = Z_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad [\Omega; \Omega, \text{kV}, \text{kV}] \quad (42)$$

kde Z_2 je impedance přepočtena na napěťovou hladinu U_2 v místě zkratu,
 Z_1 je impedance napěťové hladiny U_1 [3].

2.5 Výpočet zkratových proudů

2.5.1 Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k''

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_{k3}'' při trojfázovém zkratu:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} \quad [\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega] \quad (43)$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_{k2}'' při dvojfázovém zkratu:

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \quad [\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega] \quad (44)$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_{k1}'' při jednofázovém zkratu:

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} \quad [\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega] \quad (45)$$

kde c je napěťový součinitel,
 U_n je jmenovité napětí v místě zkratu,
 $Z_{(1)}$ je výsledná sousledná impedance zkratového obvodu,
 $Z_{(2)}$ je výsledná zpětná impedance zkratového obvodu,
 $Z_{(0)}$ je výsledná netočivá impedance zkratového obvodu [3].

2.5.2 Nárazový zkratový proud i_p

$$i_p = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_k'' \quad [\text{kA}; -, \text{kA}] \quad (46)$$

kde κ je součinitel nárazového zkratového proudu,
 I_k'' je počáteční souměrný rázový zkratový proud.

Součinitel nárazového zkratového proudu κ je dán z grafů nebo ze vzorce:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3 \cdot R}{X}} \quad [-; \Omega, \Omega] \quad (47)$$

kde R je činná složka impedance větví sítě,
 X je jalová složka impedance větví sítě [3].

2.5.3 Ekvivalentní oteplovací proud I_{th}

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} \quad [kA; kA, -, -] \quad (48)$$

kde m je součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu,
 n je součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu [3].

3 POPIS SPÍNACÍ STANICE 22 KV FRÝDEK-MÍSTEK - SLEZSKÁ

3.1 Popis současného stavu

Spínací stanice 22 kV Frýdek - Slezská (DS-SP-FM_0946) je ve vlastnictví ČEZ Distribuce. Byla uvedena do provozu v roce 1984.

Rozvodna 22 kV je vnitřního skříňového provedení. Ve 2. NP je umístěna skříňová rozvodna typu RIO 644-3550 s přípojnici ve spodní části rozvaděče. Vypínač je umístěn na výsuvném vozíku. Skříňe jsou situovány ve dvou sekcích – W11 a W12. V 1. NP se nachází kabelový prostor. Rozsah rozvodny 22kV je 34 polí, z toho 12 polí vývodů 22 kV, 2 pole vývodu na TVS, 2 pole PSP, 2 pole měření U, 16 polí rezervních. Všechny vývody VN jsou kabelové. Ve skříních přívodů a vývodů jsou umístěny vždy tři měřicí transformátory proudu a jeden měřicí transformátor napětí. Rozvodna 22 kV je napájena třemi přívodními linkami VN 89, VN 122, VN 123.

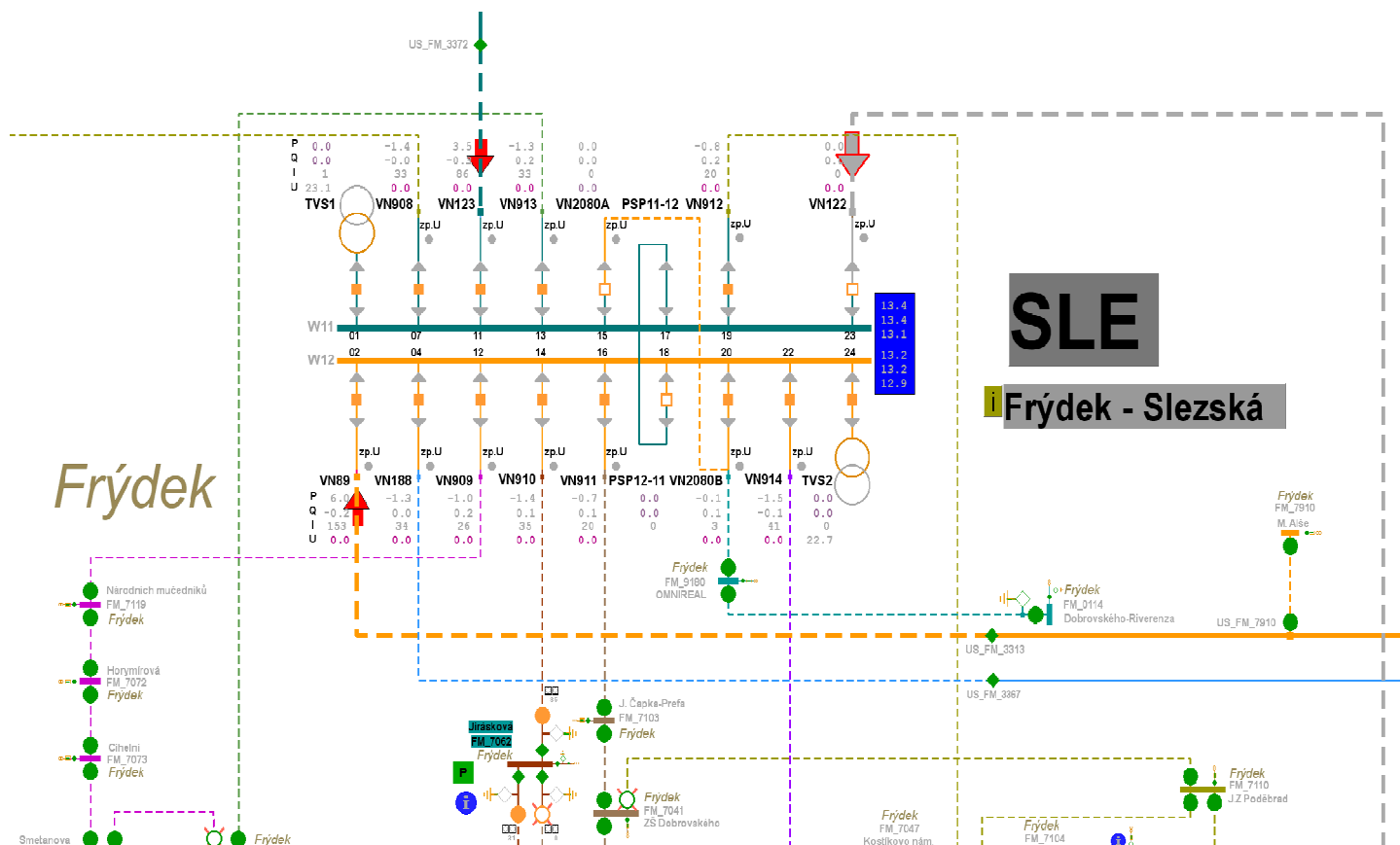
V rozvodně jsou použity elektromechanické ochrany, které jsou zastaralé a nespolehlivé. U ochran chybí dálkový dohled, směrové funkce, zapisovače a lokátory poruch. Chybí logická ochrana rozvodny (LOR).

Cílem této stavby je vyměnit nevyhovující ochrany a zkvalitnit systém chránění vývodů R22kV. Zdemontují se stávající elektromechanické ochrany R22kV a budou instalovány nové ochrany a terminály dle standardů DSO.

Rekonstrukce rozvodny se nepředpokládá v příštích pěti letech.

Důvodem této stavby je stáří a špatný technický stav stávajícího systému chránění osazeného v rozvodně 22 kV. Spolehlivost tohoto systému odpovídá jeho stáří. Elektromechanické ochrany jsou zastaralé a nespolehlivé. U ochran chybí dálkový dohled, směrové funkce, zapisovače a lokátory poruch. Chybí logická ochrana rozvodny (LOR).

Realizací stavby dojde ke zvýšení spolehlivosti provozu a ke snížení nákladů na opravy a údržbu [4].



Obr. č. 23 Schéma spínací stanice 22 kV Frýdek-Místek - Slezská [4]

Na Obr. č. 23 je schéma spínací stanice 22 kV Frýdek-Místek - Slezská, přívodní vedení je vyznačeno šipkami. Přívodní vedení je VN89, VN122 a VN123. Vedení VN89 a VN123 je napájeno z rozvodny Lískovec, vedení VN122 je napájeno z rozvodny Riviéra. Vývodní vedení je VN188, VN908, VN909, VN910, VN911, VN912, VN913, VN914 a VN2080. Na schématu jsou vyznačené transformátory vlastní spotřeby TVS1 a TVS2. Dále na schématu je spojka PSP11-12.

Tab. č. 2 Napěťová hladina 22 kV [4]

Soustava	3~50Hz, 22kV/IT
Jmenovité napětí	22 kV
Nejvyšší provozní napětí	25 kV
Jmenovitý kmitočet	50Hz
Zkratová odolnost	750MVA
Jmenovitý proud přípojníc	1250A
Přípojnice	Al ϕ 40 mm

Tab. č. 3 R22kV - vybavení polí AVA 01-34 ochranami [4]

	F121	F281	F111	F151	F341
Směr TVS1 (AVA 01)			ZPA AT31X 1985		
VN89 (AVA 02)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
Rezerva3 (AVA 03)					
VN188 (AVA 04)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
Měření W11 (AVA 05)					ZPA GV12 1985
Rezerva6 (AVA 06)					
VN908 (AVA 07)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
Měření W12 (AVA 08)					ZPA GV12 1985
Rezerva9 (AVA 09)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
Rezerva10 (AVA 10)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	ZPA GSC11 1985	
VN123 (AVA 11)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
VN909 (AVA 12)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
VN913 (AVA 13)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
VN910 (AVA 14)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
Rezerva15 (AVA 15)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	ZPA GSC11 1985	
VN911 (AVA 16)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
PSP11-12 (AVA 17)					

PSP12-11 (AVA 18)			ZPA AT31X 1985		
VN912 (AVA 19)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
VN2080 (AVA 20)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
Rezerva21 (AVA 21)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	ZPA GSC11 1985	
VN914 (AVA 22)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
VN192 (AVA 23)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	P&C RY0 2010	
Směr TVS2 (AVA 24)	ZPA A32 1985				
Rezerva25 (AVA 25)					
Rezerva26 (AVA 26)					
Rezerva 27 (AVA 27)		ZPA OZ33X 1985		ZPA GSC11 1985	
Rezerva28 (AVA 28)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	ZPA GSC11 1985	
Rezerva29 (AVA 29)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	ZPA GSC11 1985	
Rezerva30 (AVA 30)	ZPA A32 1985	ZPA OZ33X 1985	ZPA AT31X 1985	ZPA GSC11 1985	
Rezerva31 (AVA 31)					
Rezerva32 (AVA 32)					
Rezerva33 (AVA 33)					
Rezerva34 (AVA 34)					

Vysvětlivky:

Modře jsou podbarvené elektromechanické ochrany.

F121 Nadproudová ochrana časově nezávislá zkratová

F281 Automatika OZ vypínače

F111 Nadproudová ochrana

F151 Citlivá zemní směrová

F341 Napěťová ochrana 1 na U_0

Osazení rozvodny 22 kV PTP a PTN:

Vývody vč. rezerv:

PTP: TTR61-1R, TTR63R 250-400/5/5 A 3 ks

PTN: TDP6 22/0,1 kV 1 ks

Pole TVS:

PTP: TSR61-1R 20/5/5 A 3 ks

PTN: TDP6 22/0,1 kV 1 ks

Pole SP (AVA18):

PTP: TTR61-R 400/5/5 A 3 ks

PTN: -

Pole měření:

PTP: -

PTN: TJP6 22/ $\sqrt{3}$ /0,1/ $\sqrt{3}$ /0,1/3 kV 3 ks

Průvlekové součtové PTP nejsou ve vývodech osazeny [4].

3.2 Popis nového stavu

Cílem této stavby je vyměnit nevyhovující ochrany a zkvalitnit systém chránění vývodů R22 kV. Zdemontují se stávající ochrany R22 kV a budou instalovány nové ochrany a terminály dle standardů DSO.

Rekonstrukce rozvodny se nepředpokládá v příštích pěti letech.

V rámci tohoto PS se provede demontáž stávajících elektromechanických ochrany R22 kV a ochrany RYo včetně demontáže pomocných přístrojů a stávajícího vydrátování příslušných panelů ochrany. Elektromechanické ochrany se zlikvidují (demontované zařízení má nulovou zůstatkovou hodnotu), ochrany RYo budou předány údržbě k dalšímu využití.

Ponechána bude stávající havarijní záblesková ochrana rozvaděče 22 kV. V rámci této stavby se doplní logická ochrana rozvodny 22 kV.

V rámci této stavby bude dodáno a instalováno následující zařízení:

SICAM PAS vč. skříně		1ks
Nadproudová ochrana + terminál	7SJ85	16ks
vývody a TVS		
Terminál PSP	7SJ85	1ks
Terminál měření	7SJ85	2ks
Terminál vlastní spotřeby	6MD85	1ks

Terminál PSP W11-W12 bude přiřazen k poli AVA18

V každé sekci se ochranami vybaví pouze jedna rezerva. Tyto rezervy budou upřesněny v PD na základě projekčního průzkumu dle jejich vybavení, dále v těchto skříních musí být stávající jednotka HZO.

Ochrany a terminály SIEMENS budou řady SIPROTEC5. Ochrany budou obsahovat všechny potřebné funkce a možnost komunikovat protokolem IEC61850. Ochrany se umístí do stávajících rozvaděčů místo stávajících demontovaných ochran. Všechny pomocné přístroje včetně svorkovnic se zdemontují a nahradí novými.

Součástí této stavby bude nejenom dodávka a instalace nových přístrojů (terminálů ochran), ale také kompletní předrátování příslušných stávajících rozvaděčů ochran vč. dodávky a montáže nových pomocných přístrojů. Upraví se rovněž rozvaděč vlastní spotřeby, do kterého se instaluje nový terminál.

Nové terminály a ochrany pro R 22 kV budou již opticky připojeny k SICAM PAS. Nové terminály a ochrany budou napájeny napětím 110 V DC [4].

4 POPIS NAVRHNUTÝCH OCHRAN PRO SPÍNACÍ STANICI 22 KV FRÝDEK-MÍSTEK - SLEZSKÁ

Pro spínací stanici budou použity nadproudové ochrany SIEMENS 7SJ85. Nadproudová ochrana 7SJ85 je univerzální ochrana a automatizační zařízení platformy SIPROTEC 5. Je speciálně navržena na chránění vývodu a přívodu vedení [7].

4.1 Vlastnosti ochrany

- Směrová a nesměrová časová nadproudová ochrana s přídatnými funkcemi
- Chránění několika vývodů - až 24 analogových vstupů
- Optimalizace vypínacího času určená směrováním a komunikací prostřednictvím ochranného rozhraní
- Identifikace statických a přerušovaných zemních poruch v rezonančně uzemněných a izolovaných sítích
- Výkonný poruchový zapisovač
- Ochrana činného a zpětného výkonu
- Přídatné funkce pro testování a uvádění do provozu
- Měření provozních hodnot
- Výkonná automatizace
- Integrovaný elektrický ethernetový port

4.2 Ochranné funkce

Nadproudové ochrany

- Detekuje zkrat na elektrickém zařízení
- Nasazuje se jako záložní nadproudová ochrana vedle hlavní ochrany
- Dva nezávislé stupně nadproudové ochrany a jeden závislý stupně nadproudové ochrany
- Možnost nezpůsobeného vypnutí při zapnutí do zkratu
- Možnost blokování

Směrová nadproudová ochrana

- Chrání elektrické zařízení proti zkratům
- Může se použít jako záložní nadproudová ochrana vedle hlavní ochrany
- Zajišťuje selektivní detekci poruchy u jednostranně napájených paralelních vedení nebo transformátorů
- U oboustranně napájených konců vedení nebo kruhově zapojených vedení zajišťuje selektivní detekci poruchy
- Dva směrové, nezávislé stupně nadproudové ochrany a jeden směrový, závislý stupeň nadproudové ochrany
- Možnost nezpožděného vypnutí při zapnutí do zkratu libovolným stupněm

Zemní zkratová ochrana

- Dva nezávislé a jeden proudově závislý stupeň pro vysokoohmové zemní poruchy
- Volba charakteristiky pro proudově závislou ochranu
- Možnost nezpožděného vypnutí při zapnutí do zkratu libovolným stupněm

Citlivá zemní ochrana

Pro detekci zemních spojení se nabízejí dvě funkce. Směrová, která se nasazuje, pokud je vedle nulového proudu I_0 k dispozici také nulové napětí U_0 , a nesměrová, která se nasazuje, pokud je k dispozici jen nulový proud I_0

Směrová citlivá detekce zemních spojení:

- Pro směrovou detekci trvalých zemních spojení v izolovaných nebo zhasených sítích
- Pro směrovou detekci rychle zhasínajících zemních spojení (přechodných) v izolovaných nebo zhasených sítích
- Pro určení poruchou postižené fáze
- Pro detekci vysokoohmových zemních zkratů v efektivně (tvrdě) nebo nízkoohmově (odporově) zemněných sítích

Citlivá zemní ochrana:

- Pro detekci zemních spojení v izolovaných nebo zhasených sítích
- Pro detekci vysokoohmových zemních zkratů v efektivně (tvrdě) nebo nízkoohmově (odporově) zemněných sítích

5 VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ PRO NASTAVENÍ OCHRAN

Tab. č. 4 Napájecí linky, zkratové hodnoty proudů, které napájí spínací stanici 22 kV Frýdek-Místek - Slezská

	$I''_{k3 \max}$ [kA]	$I''_{k3 \min}$ [kA]	$S''_{k3 \max}$ [MVA]	$S''_{k3 \min}$ [MVA]
Lískovec VN89	3,37	2,31	128,41	88,02
Lískovec VN123	5,17	3,08	197	117,36
Riviéra VN122	5,44	4,46	207,29	169,95

5.1 Napájení napájecí linky Lískovec VN89

Výpočet maximální a minimální zkratové reaktance sítě 22 kV:

$$X_{S \max VN89} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3 \min}} = \frac{1,23}{\sqrt{3} \cdot 2,31} = 5,76 \, \Omega$$

$$X_{S \min VN89} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3 \max}} = \frac{1,1,23}{\sqrt{3} \cdot 3,37} = 4,334 \, \Omega$$

Celková maximální a minimální zkratová impedance:

$$Z_{C \max VN89} = X_{S \max VN89} = 5,76 \, \Omega$$

$$Z_{C \min VN89} = X_{S \min VN89} = 4,334 \, \Omega$$

Zkratové proudy na přípojnících 22 kV:

$$I''_{k3 \max} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot Z_{C \min VN122}} = \frac{1,1,23}{\sqrt{3} \cdot 2,687} = 5,437 \, kA$$

$$I''_{k3 \min} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot Z_{C \max VN123}} = \frac{1,23}{\sqrt{3} \cdot 4,316} = 3,077 \, kA$$

$$I''_{k2 \min} = \frac{c \cdot U_{S22}}{2 \cdot Z_{C \max VN123}} = \frac{1,23}{2 \cdot 4,316} = 2,665 \, kA$$

5.2 Napájení napájecí linky Lískovec VN123

Výpočet maximální a minimální zkratové reaktance sítě 22 kV:

$$X_{S \max VN123} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3 \min}} = \frac{1,23}{\sqrt{3} \cdot 3,08} = 4,316 \, \Omega$$

$$X_{S \min VN123} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3 \max}} = \frac{1,1,23}{\sqrt{3} \cdot 5,17} = 2,828 \, \Omega$$

Celková maximální a minimální zkratová impedance:

$$Z_{C \max VN123} = X_{S \max VN123} = 4,316 \, \Omega$$

$$Z_{C \min VN123} = X_{S \min VN123} = 2,828 \, \Omega$$

Zkratové proudy na přípojnících 22 kV:

$$I''_{k3 \max} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot Z_{C \min VN122}} = \frac{1,1,23}{\sqrt{3} \cdot 2,687} = 5,437 \text{ kA}$$

$$I''_{k3 \min} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot Z_{C \max VN89}} = \frac{1,23}{\sqrt{3} \cdot 5,76} = 2,305 \text{ kA}$$

$$I''_{k2 \min} = \frac{c \cdot U_{S22}}{2 \cdot Z_{C \max VN89}} = \frac{1,23}{2 \cdot 5,76} = 1,996 \text{ kA}$$

5.3 Napájení napájecí linky Riviéra VN122

Výpočet maximální a minimální zkratové reaktance sítě 22 kV:

$$X_{S \max VN122} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3 \min}} = \frac{1,23}{\sqrt{3} \cdot 4,46} = 2,978 \text{ } \Omega$$

$$X_{S \min VN122} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3 \max}} = \frac{1,1,23}{\sqrt{3} \cdot 5,44} = 2,687 \text{ } \Omega$$

Celková maximální a minimální zkratová impedance:

$$Z_{C \max VN122} = X_{S \max VN122} = 2,978 \text{ } \Omega$$

$$Z_{C \min VN122} = X_{S \min VN122} = 2,687 \text{ } \Omega$$

Zkratové proudy na přípojnících 22 kV:

$$I''_{k3 \max} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot Z_{C \min VN123}} = \frac{1,1,23}{\sqrt{3} \cdot 2,828} = 5,165 \text{ kA}$$

$$I''_{k3 \min} = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot Z_{C \max VN89}} = \frac{1,23}{\sqrt{3} \cdot 5,76} = 2,305 \text{ kA}$$

$$I''_{k2 \min} = \frac{c \cdot U_{S22}}{2 \cdot Z_{C \max VN89}} = \frac{1,23}{2 \cdot 5,76} = 1,996 \text{ kA}$$

Pro výpočet zkratových poměrů na straně 22 kV není potřeba počítat nulové složky pro jednopólové zkraty, protože síť vn je uzemněná přes tlumivku.

Minimální počáteční rázový zkratový proud $I''_{k2 \min}$ je nutné vypočítat pro nastavení zkratových ochran 22 kV, maximální počáteční rázový zkratový proud $I''_{k3 \max}$ je nutné vypočítat pro další výpočet - ekvivalentní oteplovací proud I_{ke} z něhož se vypočítá maximální dovolený čas dle vztahu:

$$t_{vyp} = \left(\frac{S \cdot K}{I_{ke}} \right)^2 \quad (49)$$

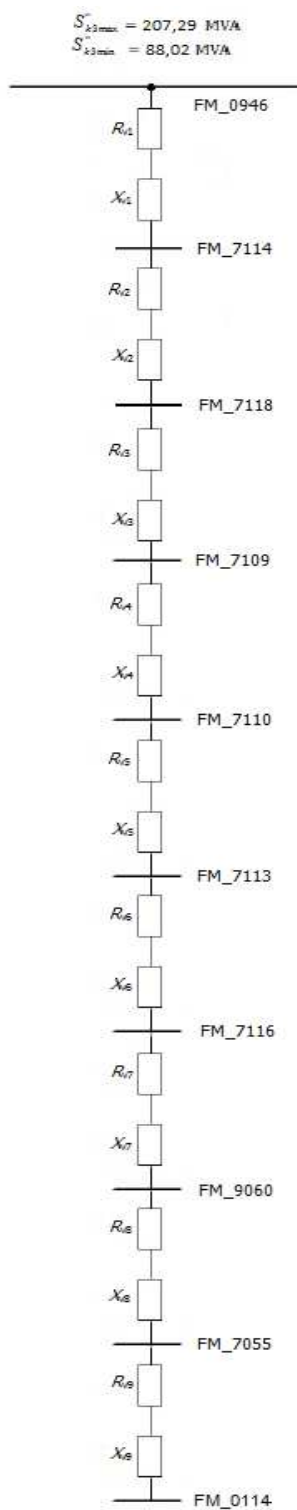
kde S je průřez vodiče,

K je oteplovací konstanta,

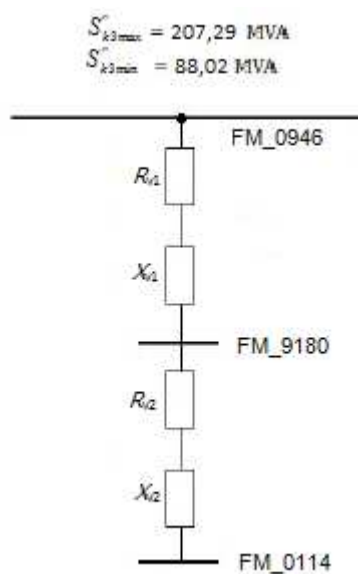
k_e je součinitel oteplovacího proudu, pro 22 kV $k_e = 1,02$.

$$I_{ke} \text{ je ekvivalentní oteplovací proud, } I_{ke} = k_e \cdot I''_{k3 \max} \quad (50)$$

5.4 Příklad výpočtu zkratových proudů pro vedení VN912 a VN2080



Obr. č. 24 Schéma vedení VN912



Obr. č. 25 Schéma vedení VN2080

Výpočet činných odporů jednotlivých úseků vedení VN912:

$$R_{v1} = r_{k1} \cdot l_{k1} = 0,125 \cdot 0,473 = 0,059 \, \Omega$$

$$R_{v2} = r_{k2} \cdot l_{k2} = 0,125 \cdot 0,351 = 0,044 \, \Omega$$

$$R_{v3} = r_{k3} \cdot l_{k3} = 0,125 \cdot 0,281 = 0,035 \, \Omega$$

$$R_{v4} = r_{k4} \cdot l_{k4} = 0,125 \cdot 0,129 = 0,016 \, \Omega$$

$$R_{v5} = r_{k5} \cdot l_{k5} = 0,125 \cdot 0,231 = 0,029 \, \Omega$$

$$R_{v6} = r_{k6} \cdot l_{k6} = 0,125 \cdot 0,162 = 0,02 \, \Omega$$

$$R_{v7} = r_{k7} \cdot l_{k7} = 0,125 \cdot 0,174 = 0,022 \, \Omega$$

$$R_{v8} = r_{k8} \cdot l_{k8} = 0,125 \cdot 0,193 = 0,024 \, \Omega$$

$$R_{v9} = r_{k9} \cdot l_{k9} = 0,129 \cdot 0,401 = 0,052 \, \Omega$$

Součet činných odporů vedení VN912:

$$\sum_{i=1}^9 R_{vi} = R_{v1} + R_{v2} + R_{v3} + R_{v4} + R_{v5} + R_{v6} + R_{v7} + R_{v8} + R_{v9} = 0,059 + 0,044 + 0,035 + 0,016 + 0,029 + 0,02 + 0,022 + 0,024 + 0,052 = 0,301 \, \Omega$$

Výpočet reaktancí jednotlivých úseků vedení VN912:

$$X_{v1} = x_{k1} \cdot l_{k1} = 0,113 \cdot 0,473 = 0,053 \, \Omega$$

$$X_{v2} = x_{k2} \cdot l_{k2} = 0,113 \cdot 0,351 = 0,04 \, \Omega$$

$$X_{v3} = x_{k3} \cdot l_{k3} = 0,113 \cdot 0,281 = 0,032 \, \Omega$$

$$X_{v4} = x_{k4} \cdot l_{k4} = 0,113 \cdot 0,129 = 0,015 \, \Omega$$

$$X_{v5} = x_{k5} \cdot l_{k5} = 0,113 \cdot 0,231 = 0,026 \, \Omega$$

$$X_{v6} = x_{k6} \cdot l_{k6} = 0,113 \cdot 0,162 = 0,018 \, \Omega$$

$$X_{v7} = x_{k7} \cdot l_{k7} = 0,113 \cdot 0,174 = 0,02 \, \Omega$$

$$X_{v8} = x_{k8} \cdot l_{k8} = 0,113 \cdot 0,193 = 0,022 \, \Omega$$

$$X_{v9} = x_{k9} \cdot l_{k9} = 0,088 \cdot 0,401 = 0,035 \, \Omega$$

Součet činných odporů vedení VN912:

$$\sum_{i=1}^9 X_{vi} = X_{v1} + X_{v2} + X_{v3} + X_{v4} + X_{v5} + X_{v6} + X_{v7} + X_{v8} + X_{v9} = 0,053 + 0,04 + 0,032 + 0,015 + 0,026 + 0,018 + 0,02 + 0,022 + 0,035 = 0,261 \, \Omega$$

Výpočet minimálního zkratového proudu pro první úsek vedení VN912:

$$I_{k2 \min v1}'' = \frac{c \cdot U_{S22}}{2 \cdot \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{s \max VN89} + X_{v1})^2}} = \frac{1,23}{2 \cdot \sqrt{0,059^2 + (5,76 + 0,053)^2}} = 1,978 \, kA$$

Výpočet minimálního zkratového proudu pro druhý úsek vedení VN912:

$$I_{k2 \min v2}'' = \frac{c \cdot U_{S22}}{2 \cdot \sqrt{(R_{v1} + R_{v2})^2 + (X_{s \max VN89} + X_{v1} + X_{v2})^2}} = \frac{1,23}{2 \cdot \sqrt{(0,059 + 0,044)^2 + (5,76 + 0,053 + 0,04)^2}} = 1,964 \, kA$$

Výpočet maximálního zkratového proudu pro první úsek vedení VN912:

$$I_{k3 \max v1}'' = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{s \min VN122} + X_{v1})^2}} = \frac{1,1 \cdot 23}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,059^2 + (2,687 + 0,053)^2}} = 5,329 \, kA$$

Výpočet maximálního zkratového proudu pro druhý úsek vedení VN912:

$$I_{k3 \max v2}'' = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{v1} + R_{v2})^2 + (X_{s \min VN122} + X_{v1} + X_{v2})^2}} = \frac{1,1.23}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,059 + 0,044)^2 + (2,687 + 0,053 + 0,04)^2}} = 5,251 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního dovoleného vypínacího času pro první úsek vedení VN912:

$$t_{vyp v1} = \left(\frac{S \cdot K}{I_{ke}} \right)^2 = \left(\frac{S \cdot K}{k_e \cdot I_{k3 \max}''} \right)^2 = \left(\frac{240.93}{1,02.5,437.10^3} \right)^2 = 16,201 \text{ s}$$

Výpočet maximálního dovoleného vypínacího času pro druhý úsek vedení VN912:

$$t_{vyp v2} = \left(\frac{S \cdot K}{I_{ke}} \right)^2 = \left(\frac{S \cdot K}{k_e \cdot I_{k3 \max V1}''} \right)^2 = \left(\frac{240.93}{1,02.5,329.10^3} \right)^2 = 16,859 \text{ s}$$

Výpočet činných odporů jednotlivých úseků vedení VN2080:

$$R_{v1} = r_{k1} \cdot I_{k1} = 0,125.0,457 = 0,057 \text{ } \Omega$$

$$R_{v2} = r_{k2} \cdot I_{k2} = 0,125.0,454 = 0,057 \text{ } \Omega$$

Součet činných odporů vedení V2080:

$$\sum_{i=1}^9 R_{vi} = R_{v1} + R_{v2} = 0,057 + 0,057 = 0,114 \text{ } \Omega$$

Výpočet reaktancí jednotlivých úseků vedení VN2080:

$$X_{v1} = x_{k1} \cdot I_{k1} = 0,113.0,457 = 0,052 \text{ } \Omega$$

$$X_{v2} = x_{k2} \cdot I_{k2} = 0,113.0,454 = 0,051 \text{ } \Omega$$

Součet činných odporů vedení VN2080:

$$\sum_{i=1}^9 X_{vi} = X_{v1} + X_{v2} = 0,052 + 0,051 = 0,103 \text{ } \Omega$$

Výpočet minimálního zkratového proudu pro první úsek vedení VN2080:

$$I_{k2 \min v1}'' = \frac{c \cdot U_{S22}}{2 \cdot \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{s \max VN89} + X_{v1})^2}} = \frac{1.23}{2 \cdot \sqrt{0,057^2 + (5,76 + 0,052)^2}} = 1,979 \text{ kA}$$

Výpočet minimálního zkratového proudu pro druhý úsek vedení VN2080:

$$I_{k2 \min v2}'' = \frac{c \cdot U_{S22}}{2 \cdot \sqrt{(R_{v1} + R_{v2})^2 + (X_{s \max VN89} + X_{v1} + X_{v2})^2}} = \frac{1.23}{2 \cdot \sqrt{(0,057 + 0,057)^2 + (5,76 + 0,052 + 0,051)^2}} = 1,961 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního zkratového proudu pro první úsek vedení VN2080:

$$I_{k3 \max v1}'' = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{s \min VN122} + X_{v1})^2}} = \frac{1,1.23}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,057^2 + (2,687 + 0,052)^2}} = 5,333 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního zkratového proudu pro druhý úsek vedení VN2080:

$$I_{k3\max v2}'' = \frac{c \cdot U_{S22}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{v1} + R_{v2})^2 + (X_{s\min VN122} + X_{v1} + X_{v2})^2}} = \frac{1,1,23}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,057 + 0,057)^2 + (2,687 + 0,052 + 0,051)^2}} = 5,232 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního dovoleného vypínacího času pro první úsek vedení VN2080:

$$t_{vyp v1} = \left(\frac{S \cdot K}{I_{ke}} \right)^2 = \left(\frac{S \cdot K}{k_e \cdot I_{k3\max}''} \right)^2 = \left(\frac{240,93}{1,02,5,437 \cdot 10^3} \right)^2 = 16,201 \text{ s}$$

Výpočet maximálního dovoleného vypínacího času pro druhý úsek vedení VN2080:

$$t_{vyp v2} = \left(\frac{S \cdot K}{I_{ke}} \right)^2 = \left(\frac{S \cdot K}{k_e \cdot I_{k3\max V1}''} \right)^2 = \left(\frac{240,93}{1,02,5,333 \cdot 10^3} \right)^2 = 16,837 \text{ s}$$

5.5 Zadané parametry jednotlivých úseků vedení

Tab. č. 5 Parametry vedení linky VN89

Úsek vedení	Typ vedení	<i>l</i> (m)	<i>S</i> (mm ²)	<i>I</i> _{dov} (A)	<i>K</i> (-)	<i>R</i> (Ω/km)	<i>X</i> (Ω/km)
FM_0946><FM_LIS							
FM_0946><US_FM_3313	AXEKVCEY	237	240	417	93	0,125	0,088
US_FM_3313><odb. k FM_9069	AlFe	887	120	357	107	0,234	0,361
odb. k FM_9069><odb. k US_FM_3183	AlFe	135	120	357	107	0,234	0,361
	AlFe	423	95	284	107	0,319	0,370
odb. k US_FM_3183><odb. k FM_7462	AlFe	1163	95	284	107	0,319	0,370
odb. k FM_7462><odb. k US_FM_3316	AlFe	222	95	284	107	0,319	0,370
	AlFe	2712	110	357	107	0,234	0,361
odb. k US_FM_3316><odb. k US_FM_9072	AlFe	73	110	357	107	0,234	0,366
odb. k US_FM_9072><FM_LIS	AlFe	740	110	357	107	0,234	0,366
	AlFe	274	185	459	107	0,156	0,355
	ANKTOYPV	1341	240	353	71	0,129	0,088

Odbočkové vedení	Typ vedení	<i>l</i> (m)	<i>S</i> (mm ²)	<i>I</i> _{dov} (A)	<i>K</i> (-)	<i>R</i> (Ω/km)	<i>X</i> (Ω/km)
1: odb. k US_FM_3183><FM_9127							
odb. k US_FM_3183><odb. k FM_7061	AlFe	1274	70	225	107	0,432	0,431
	AlFe42/7	248	42	163	107	0,715	0,392
odb. k FM_7061><FM_9127	AXEKVCEY	234	70	210	93	0,443	0,138

Tab. č. 6 Parametry vedení linky VN122

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946 (Slezská)><FM_RIVI	AXEKVCEY	517	240	417	93	0,125	0,088
FM_0946 (Slezská)><US_FM_3324							
US_FM_3324><odb. k US_FM_3488	AlFe	442	120	357	107	0,234	0,356
odb. k US_FM_3488><US_FM_3184	AlFe	1304	120	357	107	0,234	0,356
US_FM_3488><US_FM_3184	AlFe	330	120	357	107	0,234	0,356
US_FM_3184><FM_RIVI	AXEKVCEY	245	240	417	93	0,125	0,088

Tab. č. 7 Parametry vedení linky VN123

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946><FM_LIS	AXEKVCEY	356	240	417	93	0,125	0,088
FM_0946><US_FM_3372							
US_FM_3372><US_FM_3535	AlFe	1099	150	387	107	0,200	0,358
US_FM_3535><US_FM_3534	AXEKVCEY	874	240	417	93	0,125	0,088
US_FM_3534><US_FM_3317	AlFe	1019	150	387	107	0,200	0,358
US_FM_3317><FM_926	AXEKVCEY	103	240	417	93	0,125	0,088
FM_926><odb. k US_FM_3315	AXEKVCEY	581	240	417	93	0,125	0,088
odb. k US_FM_3315><FM_LIS	AlFe	734	185	459	107	0,156	0,355

Tab. č. 8 Parametry vedení linky VN188

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946><9025 (VÚHŽ)	AXEKVCEY	241	240	417	93	0,125	0,113
FM_0946><US_FM_3313							
odb. k FM_9058><odb. k FM_9096	AlFe	1100	120	357	107	0,234	0,361
odb. k FM_9058><odb. k FM_9096	AlFe	70	120	357	107	0,234	0,356
odb. k FM_9096><odb. k FM_0138	AlFe	653	95	284	107	0,319	0,370
odb. k FM_0138><FM_9025	AlFe110/22	197	110	318	107	0,266	0,361
	AlFe	341	95	284	107	0,319	0,370
	ANKTOYPV	85	240	353	71	0,129	0,088

Tab. č. 9 Parametry vedení linky VN908

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946 (Slezská)><FM_9043 (Nemocnice)	ANKTOYPV	268	240	353	71	0,129	0,088
FM_0946><FM_0140							
FM_0140><FM_9042	AXEKVCEY	7	240	417	93	0,125	0,088
	ANKTOYPV	8	240	417	93	0,125	0,088
FM_0140><FM_9042	ANKTOYPV	157	240	353	71	0,129	0,088
FM_9042><FM_9027	AXEKVCEY	17	240	417	93	0,125	0,088
FM_9027><FM_7064	AXEKVCEY	10	240	417	93	0,125	0,088
	ANKTOYPV	571	240	353	71	0,129	0,088

FM_7064><FM_7065	AXEKVCEY	262	240	417	93	0,125	0,088
FM_7064><FM_7065	AXEKVCEY	484	240	417	93	0,125	0,088
FM_7065><FM_7066	AXEKVCEY	199	240	417	93	0,125	0,113
FM_7066><FM_7067	AXEKVCEY	300	240	417	93	0,125	0,113
FM_7067><FM_9186	AXEKVCEY	724	240	417	93	0,125	0,113
FM_9186><FM_9043	AXEKVCEY	314	240	417	93	0,125	0,088
FM_9043><FM_7069 (vn909)	AXEKVCEY	212	240	417	93	0,125	0,113
FM_7069><FM_7070	ANKTOYPV	434	240	353	71	0,129	0,088
FM_7070><FM_7071	AXEKVCEY	298	240	417	93	0,125	0,113
FM_7071><FM_7081	ANKTOYPV	322	240	353	71	0,129	0,113
FM_7081><FM_7080	AXEKVCEY	299	240	417	93	0,125	0,113
FM_7080><FM_7079	AXEKVCEY	256	240	417	93	0,125	0,113
FM_7079><FM_7078	AXEKVCEY	141	240	417	93	0,125	0,113
FM_7078><FM_7077	ANKTOYPV	199	240	353	71	0,129	0,113
FM_7077><FM_7076	ANKTOYPV	175	240	353	71	0,129	0,113
FM_7076><FM_7075	ANKTOYPV	256	240	353	71	0,129	0,088
FM_7075><FM_7074	ANKTOYPV	458	240	353	71	0,129	0,113
FM_7074><FM_7073	ANKTOYPV	214	240	353	71	0,129	0,113
FM_7073><FM_7072	ANKTOYPV	503	240	353	71	0,129	0,113
FM_7072><FM_7119	ANKTOYPV	304	240	353	71	0,129	0,088
FM_7119><FM_0946 (Slezská)	ANKTOYPV	268	240	353	71	0,129	0,088

Tab. č. 10 Parametry vedení linky VN909

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946 (Slezská)><FM_9043 (Nemocnice)							
FM_0946><FM_7119	ANKTOYPV	304	240	353	71	0,129	0,088
FM_7119><FM_7072	ANKTOYPV	503	240	353	71	0,129	0,088
FM_7072><FM_7073	ANKTOYPV	214	240	353	71	0,129	0,088
FM_7073><FM_7074	ANKTOYPV	458	240	353	71	0,129	0,088
FM_7074><FM_7075	ANKTOYPV	256	240	353	71	0,129	0,088
FM_7075><FM_7076	ANKTOYPV	175	240	353	71	0,129	0,088
FM_7076><FM_7077	ANKTOYPV	199	240	353	71	0,129	0,088
FM_7077><FM_7078	AXEKVCEY	141	240	417	93	0,125	0,113
FM_7078><FM_7079	AXEKVCEY	256	240	417	93	0,125	0,113
FM_7079><FM_7080	AXEKVCEY	299	240	417	93	0,125	0,113
FM_7080><FM_7081	ANKTOYPV	322	240	353	71	0,129	0,088
FM_7081><FM_7071	AXEKVCEY	298	240	417	93	0,125	0,113
FM_7071><FM_7070	ANKTOYPV	434	240	353	71	0,129	0,088
FM_7070><FM_7069	AXEKVCEY	212	240	417	93	0,125	0,113
FM_7069><FM_9043	AXEKVCEY	314	240	417	93	0,125	0,113
FM_9043><FM_9186 (vn908)	AXEKVCEY	724	240	417	93	0,125	0,113
FM_9186><FM_7067	AXEKVCEY	300	240	417	93	0,125	0,113
FM_7067><FM_7066	AXEKVCEY	199	240	417	93	0,125	0,113
FM_7066><FM_7065	AXEKVCEY	484	240	417	93	0,125	0,113
FM_7065><FM_7064	AXEKVCEY	262	240	417	93	0,125	0,113

FM_7064><FM_9027	ANKTOYPV	571	240	353	71	0,129	0,088
	AXEKVCEY	10	240	417	93	0,125	0,113
FM_9027><FM_9042	AXEKVCEY	17	240	417	93	0,125	0,113
FM_9042><FM_0140	ANKTOYPV	157	240	353	71	0,129	0,088
	AXEKVCEY	8	240	417	93	0,125	0,088
FM_0140><FM_0946	AXEKVCEY	7	240	417	93	0,125	0,088
	ANKTOYPV	268	240	353	71	0,129	0,088

Tab. č. 11 Parametry vedení linky VN910

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946><FM_0111 (Obchodní centrum)							
FM_0946><FM_7062	ANKTOYPV	1103	240	353	71	0,129	0,088
FM_7062><FM_7105	ANKTOYPV	311	240	353	71	0,129	0,088
FM_7105><FM_7045	ANKTOYPV	394	240	353	71	0,129	0,088
	AXEKVCEY	85	240	417	93	0,125	0,113
FM_7045><FM_7108	AXEKVCEY	86	240	417	93	0,125	0,113
	ANKTOYPV	146	240	353	71	0,129	0,088
	AXEKVCEY	259	240	417	93	0,125	0,113
FM_7108><FM_0111	AXEKVCEY	924	240	319	93	0,206	0,119

Odbočkové vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
1: FM_7206><FM_0946 (vn911)							
FM_7062><FM_9146	AXEKVCEY	100	240	417	93	0,125	0,113
FM_9146><FM_7049	AXEKVCEY	285	240	417	93	0,125	0,113
FM_7049><FM_9044	AXEKVCEY	170	240	417	93	0,125	0,113
FM_9044><FM_7060	AXEKVCEY	207	240	417	93	0,125	0,113
FM_7060><FM_7117	AXEKVCEY	187	240	417	93	0,125	0,113
FM_7117><FM_7041	ANKTOYPV	416	240	353	71	0,129	0,088
FM_7041><FM_7103	ANKTOYPV	184	120	241	71	0,299	0,097
	AXEKVCEY	111	240	417	93	0,125	0,113
FM_7103><FM_0946	AXEKVCEY	93	240	417	93	0,125	0,113

Odbočkové vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
1: FM_7117><FM_7104 (vn911)							
FM_7117><FM_7047	AXEKVCEY	186	240	417	93	0,125	0,113
FM_7047><FM_7104	ANKTOYPV	243	240	353	71	0,129	0,088

Odbočkové vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
2: FM_7105><FM_7090							
FM_7105><FM_7106	ANKTOYPV	476	240	353	71	0,129	0,088
FM_7106><FM_7099	ANKTOYPV	360	240	353	71	0,129	0,088
FM_7099><FM_9037	ANKTOYPV	51	150	273	71	0,239	0,094
	AXEKVCEY	60	150	319	93	0,206	0,119
FM_9037><FM_7098	AXEKVCEY	14	150	319	93	0,206	0,119
	ANKTOYPV	222	150	273	71	0,239	0,094
FM_7098><FM_9050	ANKTOYPV	135	240	353	71	0,129	0,088
FM_9050><FM_7090	ANKTOYPV	649	240	353	71	0,129	0,088

Tab. č. 12 Parametry vedení linky VN910

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946><FM_7062							
FM_0946><FM_7103	AXEKVCEY	93	240	417	93	0,125	0,113
FM_7103><FM_7041	AXEKVCEY	111	240	417	93	0,125	0,113
	ANKTOYPV	184	120	241	71	0,299	0,097
FM_7041><FM_7117	ANKTOYPV	416	240	353	71	0,129	0,088
FM_7117><FM_7060	AXEKVCEY	187	240	417	93	0,125	0,113
FM_7060><FM_9044	AXEKVCEY	207	240	417	93	0,125	0,113
FM_9044><FM_7049	AXEKVCEY	170	240	417	93	0,125	0,113
FM_7049><FM_9146	AXEKVCEY	285	240	417	93	0,125	0,113
FM_9146><FM_7062	AXEKVCEY	100	240	417	93	0,125	0,113
FM_0946><FM_7062 (vn910)	ANKTOYPV	1103	240	353	71	0,129	0,088
FM_7062><FM_7105	ANKTOYPV	311	240	353	71	0,129	0,088
FM_7105><FM_7045	ANKTOYPV	394	240	353	71	0,129	0,088
	AXEKVCEY	85	240	417	93	0,125	0,113
FM_7045><FM_7108	AXEKVCEY	86	240	417	93	0,125	0,113
	ANKTOYPV	146	240	353	71	0,129	0,088
	AXEKVCEY	259	240	417	93	0,125	0,113
FM_7108><FM_0111	AXEKVCEY	924	240	319	93	0,206	0,119

Odbočkové vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
1: FM_7117><FM_7104							
FM_7117><FM_7047	AXEKVCEY	186	240	417	93	0,125	0,113
FM_7047><FM_7104	ANKTOYPV	243	240	353	71	0,129	0,088

Odbočkové vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
2: FM_7105><FM_7090 (vn910)							
FM_7105><FM_7106	ANKTOYPV	476	240	353	71	0,129	0,088
FM_7106><FM_7099	ANKTOYPV	360	240	353	71	0,129	0,088
FM_7099><FM_9037	ANKTOYPV	51	150	273	71	0,239	0,094
	AXEKVCEY	60	150	319	93	0,206	0,119
FM_9037><FM_7098	AXEKVCEY	14	150	319	93	0,206	0,119
	ANKTOYPV	222	150	273	71	0,239	0,094
FM_7098><FM_9050	ANKTOYPV	135	240	353	71	0,129	0,088
FM_9050><FM_7090	ANKTOYPV	649	240	353	71	0,129	0,088

Tab. č. 13 Parametry vedení linky VN912

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946><FM_7054							
FM_0946><FM_7114	AXEKVCEY	473	240	417	93	0,125	0,113
FM_7114><FM_7118	AXEKVCEY	351	240	417	93	0,125	0,113
FM_7118><FM_7109	AXEKVCEY	281	240	417	93	0,125	0,113
FM_7109><FM_7110	AXEKVCEY	129	240	417	93	0,125	0,113
FM_7110><FM_7113	AXEKVCEY	231	240	417	93	0,125	0,113
FM_7113><FM_7116	AXEKVCEY	162	240	417	93	0,125	0,113
FM_7116><FM_9060	AXEKVCEY	174	240	417	93	0,125	0,113
FM_9060><FM_7055	AXEKVCEY	193	240	417	93	0,125	0,113
FM_7055><FM_7054	ANKTOYPV	401	240	353	71	0,129	0,088

Tab. č. 14 Parametry vedení linky VN913

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946 (Slezská)><FM_7112							
FM_0946><FM_7082	ANKTOYPV	966	240	353	71	0,129	0,088
FM_7082><FM_7083	ANKTOYPV	358	240	353	71	0,129	0,088
FM_7083><FM_7084	ANKTOYPV	199	240	353	71	0,129	0,088
FM_7084><FM_7085	ANKTOYPV	142	240	353	71	0,129	0,088
FM_7085><FM_7086	ANKTOYPV	155	240	353	71	0,129	0,088
FM_7086><FM_7087	ANKTOYPV	188	240	353	71	0,129	0,088
FM_7087><FM_7088	ANKTOYPV	132	240	353	71	0,129	0,088
FM_7088><FM_7089	ANKTOYPV	305	240	353	71	0,129	0,088
FM_7089><FM_7090	ANKTOYPV	178	240	353	71	0,129	0,088
FM_7090><FM_7091	ANKTOYPV	208	150	273	87	0,239	0,094
FM_7091><FM_7093	ANKTOYPV	329	240	353	71	0,129	0,088
	AXEKVCEY	24	240	417	93	0,125	0,113
	ANKTOYPV	205	240	353	71	0,129	0,088
FM_7093><FM_7092	ANKTOYPV	204	240	353	71	0,129	0,088
	AXEKVCEY	24	240	417	93	0,125	0,113
	ANKTOYPV	246	240	353	71	0,129	0,088
FM_7092><FM_7095	ANKTOYPV	377	150	273	87	0,239	0,094
FM_7095><FM_7096	ANKTOYPV	533	150	273	87	0,239	0,094
FM_7096><FM_7112	AXEKVCEY	161	240	417	71	0,125	0,113

Tab. č. 15 Parametry vedení linky VN914

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
R SLE><FM_9046							
R SLE><FM_7111	AXEKVCEY	350	240	417	94	0,125	0,113
FM_7111><FM_7115	AXEKVCEY	237	240	417	94	0,125	0,113
FM_7115><FM_9092	ANKTOYPV	192	240	353	87	0,129	0,088
FM_9092><FM_7056	ANKTOYPV	33	240	353	87	0,129	0,088
FM_7056><FM_7054 (vn912)	AXEKVCEY	370	240	417	94	0,125	0,113
FM_7054><FM_7053	ANKTOYPV	836	240	353	87	0,129	0,088
FM_7053><FM_9036 (vn38)	ANKTOYPV	64	240	353	87	0,129	0,088
	AXEKVCEY	12	150	319	94	0,206	0,119
FM_9036><FM_6581	AXEKVCEY	11	150	319	94	0,206	0,119
	ANKTOYPV	219	150	273	87	0,239	0,094
FM_6581>FM_9049	ANKTOYPV	226	240	353	87	0,129	0,088
FM_9049><FM_9048	ANKTOYPV	324	240	353	87	0,129	0,088
FM_9048><FM_9047	ANKTOYPV	462	240	353	87	0,129	0,088
FM_9047><FM_9046 (Sportovní hala)	AXEKVCEY	444	240	417	94	0,125	0,113

Tab. č. 16 Parametry vedení linky VN2080

Úsek vedení	Typ vedení	l (m)	S (mm ²)	I_{Dov} (A)	K (-)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
FM_0946><FM_0114							
FM_0946><FM_9180	AXEKVCEY	457	240	417	93	0,125	0,113
FM_9180><FM_0114	AXEKVCEY	454	240	417	93	0,125	0,113

5.6 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na jednotlivých úsecích vedení

Tab. č. 17 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN89

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946><FM_LIS				
FM_0946><US_FM_3313	AXEKVCEY	5,394	2,652	16,201
US_FM_3313><odb. k FM_9069	AlFe	4,809	2,466	5,446
odb. k FM_9069><odb. k US_FM_3183	AlFe	4,730	2,440	6,851
	AlFe	4,556	2,382	4,439
odb. k US_FM_3183><odb. k FM_7462	AlFe	4,325	2,303	4,784
odb. k FM_7462><odb. k US_FM_3316	AlFe	4,210	2,263	5,308
	AlFe	3,269	1,899	7,513
odb. k US_FM_3316><odb. k US_FM_9072	AlFe	4,502	2,364	12,460
odb. k US_FM_9072><FM_LIS	AlFe	4,129	2,232	6,568
	AlFe	4,365	2,316	22,090
	ANKTOYPV	4,313	2,300	14,647

Odbočkové vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
1: odb. k US_FM_3183><FM_9127				
odb. k US_FM_3183><odb. k FM_7061	AlFe	4,143	2,241	10,012
	AlFe42/7	4,835	2,476	1,131
odb. k FM_7061><FM_9127	AXEKVCE Y	4,933	2,509	1,742

Tab. č. 18 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN122

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946 (Slezská)><FM_RIVI				
FM_0946 (Slezská)><US_FM_3324	AXEKVCEY	5,082	1,981	17,949
US_FM_3324><odb. k US_FM_3488	AlFe	4,812	1,928	6,136
odb. k US_FM_3488><US_FM_3184	AlFe	4,141	1,784	6,844
	AlFe	4,626	1,890	9,239
US_FM_3184><FM_RIVI	AXEKVCEY	4,755	1,916	22,380

Tab. č. 19 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN123

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946><FM_LIS				
FM_0946><US_FM_3372	AXEKVCEY	5,373	1,986	16,201
US_FM_3372><US_FM_3535	AlFe	4,678	1,858	8,576
US_FM_3535><US_FM_3534	AXEKVCEY	4,550	1,833	21,885
US_FM_3534><US_FM_3317	AlFe	4,058	1,729	11,959

US_FM_3317><FM_926	AXEKVCEY	4,045	1,726	29,083
FM_926><odb. k US_FM_3315	AXEKVCEY	3,976	1,711	29,261
odb. k US_FM_3315><FM_LIS	AlFe	3,697	1,645	23,824

Tab. č. 20 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 188

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946><9025 (VÚHŽ)				
FM_0946><US_FM_3313	AXEKVCEY	5,382	1,987	16,201
odb. k FM_9058><odb. k FM_9096	AlFe	4,675	1,857	5,471
odb. k FM_9058><odb. k FM_9096	AlFe	4,636	1,850	7,250
odb. k FM_9096><odb. k FM_0138	AlFe	4,276	1,777	4,621
odb. k FM_0138><FM_9025	AlFe110/22	4,180	1,757	7,283
	AlFe	4,105	1,741	5,685
	ANKTOYPV	4,264	1,775	16,563

Tab. č. 21 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 908

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946 (Slezská)><FM_9043 (Nemocnice)				
FM_0946><FM_0140	ANKTOYPV	5,389	1,988	9,442
	AXEKVCEY	5,435	1,996	16,489
FM_0140><FM_9042	AXEKVCEY	5,434	1,996	16,208
	ANKTOYPV	5,407	1,991	9,452
FM_9042><FM_9027	AXEKVCEY	5,431	1,996	16,376
FM_9027><FM_7064	AXEKVCEY	5,429	1,995	16,233
	ANKTOYPV	5,329	1,978	9,468
FM_7064><FM_7065	AXEKVCEY	5,383	1,987	16,859
FM_7065><FM_7066	AXEKVCEY	5,297	1,973	16,524
FM_7066><FM_7067	AXEKVCEY	5,252	1,965	17,065
FM_7067><FM_9186	AXEKVCEY	5,186	1,953	17,356
FM_9186><FM_9043	AXEKVCEY	5,029	1,925	17,806
FM_9043><FM_7069 (vn909)	AXEKVCEY	4,975	1,916	18,937
FM_7069><FM_7070	ANKTOYPV	4,931	1,908	19,345
FM_7070><FM_7071	AXEKVCEY	4,858	1,895	11,480
FM_7071><FM_7081	ANKTOYPV	4,797	1,884	20,291
FM_7081><FM_7080	AXEKVCEY	4,732	1,872	12,129
FM_7080><FM_7079	AXEKVCEY	4,673	1,861	21,386
FM_7079><FM_7078	AXEKVCEY	4,623	1,851	21,931
FM_7078><FM_7077	ANKTOYPV	4,596	1,846	22,406
FM_7077><FM_7076	ANKTOYPV	4,558	1,839	13,214
FM_7076><FM_7075	ANKTOYPV	4,524	1,833	13,436
FM_7075><FM_7074	ANKTOYPV	4,485	1,825	13,634
FM_7074><FM_7073	ANKTOYPV	4,401	1,809	13,874
FM_7073><FM_7072	ANKTOYPV	4,362	1,801	14,410

FM_7072><FM_7119	ANKTOYPV	4,273	1,783	14,667
FM_7119><FM_0946 (Slezská)	ANKTOYPV	4,230	1,774	15,283

Tab. č. 22 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 909

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946 (Slezská)><FM_9043 (Nemocnice)				
FM_0946><FM_7119	ANKTOYPV	5,382	1,987	9,442
FM_7119><FM_7072	ANKTOYPV	5,293	1,972	9,633
FM_7072><FM_7073	ANKTOYPV	5,255	1,965	9,962
FM_7073><FM_7074	ANKTOYPV	5,174	1,951	10,107
FM_7074><FM_7075	ANKTOYPV	5,128	1,944	10,427
FM_7075><FM_7076	ANKTOYPV	5,098	1,938	10,612
FM_7076><FM_7077	ANKTOYPV	5,063	1,932	10,740
FM_7077><FM_7078	AXEKVCEY	5,032	1,927	18,682
FM_7078><FM_7079	AXEKVCEY	4,977	1,917	18,910
FM_7079><FM_7080	AXEKVCEY	4,914	1,906	19,331
FM_7080><FM_7081	ANKTOYPV	4,859	1,896	11,560
FM_7081><FM_7071	AXEKVCEY	4,798	1,885	20,281
FM_7071><FM_7070	ANKTOYPV	4,726	1,872	12,125
FM_7070><FM_7069	AXEKVCEY	4,683	1,864	21,441
FM_7069><FM_9043	AXEKVCEY	4,622	1,852	21,831
FM_9043><FM_9186 (vn908)	AXEKVCEY	4,483	1,826	22,418
FM_9186><FM_7067	AXEKVCEY	4,428	1,815	23,821
FM_7067><FM_7066	AXEKVCEY	4,392	1,808	24,422
FM_7066><FM_7065	AXEKVCEY	4,305	1,790	24,827
FM_7065><FM_7064	AXEKVCEY	4,260	1,781	25,833
FM_7064><FM_9027	ANKTOYPV	4,178	1,765	15,381
	AXEKVCEY	4,258	1,781	27,426
FM_9027><FM_9042	AXEKVCEY	4,783	1,881	26,412
FM_9042><FM_0140	ANKTOYPV	4,758	1,877	12,198
	AXEKVCEY	4,782	1,881	21,155
FM_0140><FM_0946	AXEKVCEY	5,093	1,937	20,939
	ANKTOYPV	5,048	1,929	10,759

Tab. č. 23 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 910

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946><FM_0111 (Obchodní centrum)				
FM_0946><FM_7062	ANKTOYPV	5,240	1,963	9,442
FM_7062><FM_7105	ANKTOYPV	5,185	1,953	10,163
FM_7105><FM_7045	ANKTOYPV	5,116	1,941	10,381
	AXEKVCEY	5,166	1,950	18,298
FM_7045><FM_7108	AXEKVCEY	5,270	1,968	17,941
	ANKTOYPV	5,263	1,967	10,049
	AXEKVCEY	5,231	1,961	17,284
FM_7108><FM_0111	AXEKVCEY	5,205	1,957	17,497

Odbočkové vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
1: FM_7206><FM_0946 (vn911)				
FM_7062><FM_9146	AXEKVCEY	5,218	1,963	17,438
FM_9146><FM_7049	AXEKVCEY	5,155	1,953	17,587
FM_7049><FM_9044	AXEKVCEY	5,117	1,941	18,021
FM_9044><FM_7060	AXEKVCEY	5,072	1,950	18,285
FM_7060><FM_7117	AXEKVCEY	5,032	1,968	18,611
FM_7117><FM_7041	ANKTOYPV	4,961	1,967	11,022
FM_7041><FM_7103	ANKTOYPV	4,920	1,961	2,835
	AXEKVCEY	4,937	1,957	19,778
FM_7103><FM_0946	AXEKVCEY	5,159	1,996	19,643

Odbočkové vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
1: FM_7117><FM_7104 (vn911)				
FM_7117><FM_7047	AXEKVCEY	4,992	1,963	18,911
FM_7047><FM_7104	ANKTOYPV	4,951	1,953	11,198

Odbočkové vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
2: FM_7105><FM_7090				
FM_7105><FM_7106	ANKTOYPV	5,101	1,963	10,381
FM_7106><FM_7099	ANKTOYPV	5,038	1,953	10,725
FM_7099><FM_9037	ANKTOYPV	5,028	1,941	4,295
	AXEKVCEY	5,024	1,950	7,400
FM_9037><FM_7098	AXEKVCEY	5,227	1,968	7,412
	ANKTOYPV	5,185	1,967	3,991
FM_7098><FM_9050	ANKTOYPV	5,298	1,961	10,380
FM_9050><FM_7090	ANKTOYPV	5,183	1,957	9,942

Tab. č. 24 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 911

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946><FM_7062				
FM_0946><FM_7103	AXEKVCEY	5,415	1,993	16,201
FM_7103><FM_7041	AXEKVCEY	5,390	1,989	16,328
	ANKTOYPV	5,354	1,982	2,401
FM_7041><FM_7117	ANKTOYPV	5,282	1,970	9,738
FM_7117><FM_7060	AXEKVCEY	5,241	1,963	17,160
FM_7060><FM_9044	AXEKVCEY	5,196	1,955	17,432
FM_9044><FM_7049	AXEKVCEY	5,159	1,948	17,739
FM_7049><FM_9146	AXEKVCEY	5,097	1,937	17,994
FM_9146><FM_7062	AXEKVCEY	5,076	1,933	18,431
FM_0946><FM_7062 (vn910)	ANKTOYPV	4,890	1,900	10,833
FM_7062><FM_7105	ANKTOYPV	4,838	1,891	11,672
FM_7105><FM_7045	ANKTOYPV	4,773	1,879	11,923
	AXEKVCEY	4,821	1,888	21,016

FM_7045><FM_7108	AXEKVCEY	5,090	1,936	20,603
	ANKTOYPV	5,083	1,935	10,772
	AXEKVCEY	5,053	1,930	18,531
FM_7108><FM_0111	AXEKVCEY	5,188	1,954	18,756

Odbočkové vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
1: FM_7117><FM_7104				
FM_7117><FM_7047	AXEKVCEY	5,241	1,993	17,160
FM_7047><FM_7104	ANKTOYPV	5,199	1,989	10,159

Odbočkové vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
2: FM_7105><FM_7090 (vn910)				
FM_7105><FM_7106	ANKTOYPV	4,760	1,993	11,923
FM_7106><FM_7099	ANKTOYPV	4,701	1,989	12,318
FM_7099><FM_9037	ANKTOYPV	4,691	1,982	4,932
	AXEKVCEY	4,688	1,970	8,499
FM_9037><FM_7098	AXEKVCEY	3,951	1,963	8,512
	ANKTOYPV	3,927	1,955	6,983
FM_7098><FM_9050	ANKTOYPV	4,553	1,948	18,098
FM_9050><FM_7090	ANKTOYPV	4,467	1,937	13,461

Tab. č. 25 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 912

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946><FM_7054				
FM_0946><FM_7114	AXEKVCEY	5,329	1,978	16,201
FM_7114><FM_7118	AXEKVCEY	5,251	1,964	16,859
FM_7118><FM_7109	AXEKVCEY	5,189	1,954	17,367
FM_7109><FM_7110	AXEKVCEY	5,161	1,949	17,784
FM_7110><FM_7113	AXEKVCEY	5,111	1,940	17,979
FM_7113><FM_7116	AXEKVCEY	5,076	1,934	18,334
FM_7116><FM_9060	AXEKVCEY	5,039	1,927	18,586
FM_9060><FM_7055	AXEKVCEY	4,998	1,920	18,862
FM_7055><FM_7054	ANKTOYPV	4,930	1,908	11,174

Tab. č. 26 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 913

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946 (Slezská)><FM_7112				
FM_0946><FM_7082	ANKTOYPV	5,265	1,967	9,442
FM_7082><FM_7083	ANKTOYPV	5,201	1,956	10,070
FM_7083><FM_7084	ANKTOYPV	5,166	1,950	10,317
FM_7084><FM_7085	ANKTOYPV	5,141	1,946	10,458
FM_7085><FM_7086	ANKTOYPV	5,113	1,941	10,561
FM_7086><FM_7087	ANKTOYPV	5,080	1,935	10,674
FM_7087><FM_7088	ANKTOYPV	5,057	1,931	10,813
FM_7088><FM_7089	ANKTOYPV	5,004	1,922	10,912
FM_7089><FM_7090	ANKTOYPV	4,973	1,917	11,145
FM_7090><FM_7091	ANKTOYPV	4,930	1,909	6,618

FM_7091><FM_7093	ANKTOYPV	4,874	1,899	11,481
	AXEKVCEY	4,925	1,908	20,160
	ANKTOYPV	4,895	1,903	11,505
FM_7093><FM_7092	ANKTOYPV	5,351	1,982	11,648
	AXEKVCEY	5,382	1,987	16,722
	ANKTOYPV	5,344	1,981	9,634
FM_7092><FM_7095	ANKTOYPV	5,362	1,984	5,733
FM_7095><FM_7096	ANKTOYPV	5,252	1,966	5,694
FM_7096><FM_7112	AXEKVCEY	5,215	1,959	10,119

Tab. č. 27 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 914

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
R SLE><FM_9046				
R SLE><FM_7111	AXEKVCEY	5,357	1,983	16,551
FM_7111><FM_7115	AXEKVCEY	5,304	1,974	17,046
FM_7115><FM_9092	ANKTOYPV	5,270	1,968	14,897
FM_9092><FM_7056	ANKTOYPV	5,264	1,967	15,088
FM_7056><FM_7054 (vn912)	AXEKVCEY	5,182	1,952	17,653
FM_7054><FM_7053	ANKTOYPV	5,037	1,927	15,603
FM_7053><FM_9036 (vn38)	ANKTOYPV	5,026	1,925	16,513
	AXEKVCEY	5,025	1,925	7,563
FM_9036><FM_6581	AXEKVCEY	5,037	1,926	7,568
	ANKTOYPV	4,997	1,919	6,451
FM_6581>FM_9049	ANKTOYPV	4,970	1,913	16,780
FM_9049><FM_9048	ANKTOYPV	4,919	1,904	16,965
FM_9048><FM_9047	ANKTOYPV	4,847	1,890	17,316
FM_9047><FM_9046 (Sportovní hala)	AXEKVCEY	4,761	1,874	20,820

Tab. č. 28 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 2080

Úsek vedení	Typ vedení	$I''_{k3\max}$ (kA)	$I''_{k2\min}$ (kA)	t_{vyp} (s)
FM_0946><FM_0114				
FM_0946><FM_9180	AXEKVCEY	5,333	1,979	16,201
FM_9180><FM_0114	AXEKVCEY	5,232	1,961	16,837

6 NÁVRH A NASTAVENÍ ELEKTRICKÝCH OCHRAN

6.1 Nadproudový stupeň

Pro nastavení nadproudového stupně proti přetížení platí vztah:

$$I_{r\min} \geq \frac{k_b}{k_p \cdot p_i} \cdot I_{dov}$$

kde k_b je koeficient bezpečnosti návratu ochrany do klidové polohy
 k_p je přídržný poměr ochrany daný výrobcem
 p_i je jmenovitý proudový převod jisticího transformátoru proudu
 I_{DOV} je maximální dovolený proud vedení

Maximální dovolený proud je uvažován jako maximální dovolený zatěžovací proud nejslabšího úseku vedení. Velikost koeficientu bezpečnosti návratu ochrany do klidové polohy k_b se volí 1,2 pro venkovní vedení, u kabelového vedení se volí 1,05. Hodnota přídržného poměru ochrany k_p se udává 0,95. Poté se provede kontrola pro PTP.

6.2 Zkratový stupeň

Pro nastavení zkratového stupně platí vztah:

$$I_{r\max} < \frac{I_{k\min}}{k_c \cdot p_i}$$

kde $I_{k\min}$ je minimální hodnota zkratového proudu vedení
 k_c je koeficient citlivosti nadproudových ochrany (pro digitální ochrany se volí $\geq 1,2$)
 p_i je jmenovitý proudový převod JTP

Tab. č. 29 Vstupní údaje pro nastavení nadproudových ochrany

Vedení	Vstupní údaje				
	PTP	I_{dov}	$I_{k\ 2\ min}''$	k_b	k_p
	(-)	(A)	(kA)	(-)	(-)
VN89	400/5	459	1,899	1,05	0,95
VN122	400/5	417	1,784	1,05	0,95
VN123	400/5	459	1,645	1,05	0,95
VN188	250/5	417	1,741	1,05	0,95
VN908	250/5	417	1,774	1,05	0,95
VN909	250/5	417	1,765	1,05	0,95
VN910	250/5	417	1,941	1,05	0,95
VN911	250/5	417	1,89	1,05	0,95
VN912	250/5	417	1,908	1,05	0,95
VN913	250/5	417	1,899	1,05	0,95
VN914	250/5	417	1,874	1,05	0,95
VN2080	250/5	417	1,961	1,05	0,95

Nastavení pro vedení VN89

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 459 = 507,316 \text{ A} \approx 510 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{510}{400/5} = 6,375 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1899}{1,2} = 1582,5 \text{ A} \approx 1580 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1580}{400/5} = 19,75 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN122

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{400/5} = 5,75 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1784}{1,2} = 1486,667 \text{ A} \approx 1480 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1480}{400/5} = 18,5 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN123

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 459 = 507,316 \text{ A} \approx 510 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{510}{400/5} = 6,375 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1645}{1,2} = 1370,833 \text{ A} \approx 1370 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1370}{400/5} = 17,125 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN188

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{250/5} = 9,2 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1741}{1,2} = 1450,833 \text{ A} \approx 1450 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1450}{250/5} = 29 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN908

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{250/5} = 9,2 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1774}{1,2} = 1478,333 \text{ A} \approx 1480 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1480}{250/5} = 29,6 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN909

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{250/5} = 9,2 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1765}{1,2} = 1470,833 \text{ A} \approx 1470 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1470}{250/5} = 29,4 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN910

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{250/5} = 9,2 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1941}{1,2} = 1617,5 \text{ A} \approx 1620 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1620}{250/5} = 32,4 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN911

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{250/5} = 9,2 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1879}{1,2} = 1565,833 \text{ A} \approx 1560 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1560}{250/5} = 31,2 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN912

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{250/5} = 9,2 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1908}{1,2} = 1590 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1590}{250/5} = 31,8 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN913

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{250/5} = 9,2 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1899}{1,2} = 1582,5 \text{ A} \approx 1580 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1580}{250/5} = 31,6 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN914

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{250/5} = 9,2 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1874}{1,2} = 1561,667 \text{ A} \approx 1560 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1560}{250/5} = 31,2 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení VN2080

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{dov} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,895 \text{ A} \approx 460 \text{ A}$$

$$I_{r1sek} = \frac{I_{r1prim}}{p_i} = \frac{460}{250/5} = 9,2 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2prim} < \frac{I_{k2min}}{k_c} = \frac{1961}{1,2} = 1634,167 \text{ A} \approx 1630 \text{ A}$$

$$I_{r2sek} = \frac{I_{r2prim}}{p_i} = \frac{1630}{250/5} = 32,6 \text{ A}$$

Tab. č. 30 Výsledné hodnoty pro nastavení nadproudových ochran

Vedení	Nadproudový stupeň					Zkratový stupeň				Nastavení
	PTP (-)	I_{DOV} (A)	I_{r1prim} (A)	I_{r1sek} (A)	t_{vyp} (s)	I_{k2min} (kA)	I_{r2prim} (A)	I_{r2sek} (A)	t_{vyp} (A)	
VN89	400/5	459	420	6,375	0,8	1,899	1580	19,75	0	Směrová
VN122	400/5	417	440	5,75	0,8	1,784	1480	18,5	0	Směrová
VN123	400/5	459	420	6,375	0,8	1,645	1370	17,125	0	Směrová
VN188	250/5	417	300	9,2	1	1,741	1450	29	0,2	Nesměrová
VN908	250/5	417	300	9,2	0,8	1,774	1480	29,6	0	Nesměrová
VN909	250/5	417	300	9,2	0,8	1,765	1470	29,4	0	Nesměrová
VN910	250/5	417	300	9,2	1,2	1,941	1620	32,4	0,2	Nesměrová
VN911	250/5	417	300	9,2	0,8	1,89	1560	31,2	0	Nesměrová
VN912	250/5	417	300	9,2	0,8	1,908	1590	31,8	0	Nesměrová

VN913	250/5	417	300	9,2	0,8	1,899	1580	31,6	0	Nesměrová
VN914	250/5	417	300	9,2	0,8	1,874	1560	31,2	0	Nesměrová
VN2080	250/5	417	300	9,2	0,8	1,961	1630	32,6	0	Nesměrová
VN89	400/5	459	480	6,375	1,4	1,899	1800	19,75	0,4	Nesměrová
VN122	400/5	417	460	5,75	1,4	1,784	1800	18,5	0,4	Nesměrová
VN123	400/5	459	480	6,375	1,4	1,645	1800	17,125	0,4	Nesměrová

6.3 Nastavení zemních směrových ochran

Nastavení zemních směrových ochran se nastavuje stejně pro všechny zemní směrové ochrany, důvodem je zjednodušení výpočtu a nepřesnosti měření. U ochran, které pracují na wattmetrické metodě se nastavuje zbytkové napětí U_0 na hodnotu 15 V. Nulový proud se nastavuje na hodnotu 2 A. Při vzniku zemního spojení dochází k přechodným jevům, které mohou ovlivnit správné měření zemní směrové ochrany. Proto je vhodné zemní spojení signalizovat až po odeznění tohoto přechodného děje. Jako vhodná hodnota zpoždění je 0,2 s. U konduktančních ochran je nastavení zbytkového napětí stejné $U_0 = 15$ V. Pro převod PTP 400/5 A se nastavuje konduktance $G_0 = 2$ mS. Pro větší převod PTP se nastavuje konduktance $G_0 = 1$ mS [5].

Tab. č. 31 Hodnoty pro zemní směrovou ochranu

Vedení	Zemní směrová ochrana		
	I_0 (A)	U_0 (V)	t_0 (s)
VN89	2	15	0,2
VN122	2	15	0,2
VN123	2	15	0,2
VN188	2	15	0,2
VN908	2	15	0,2
VN909	2	15	0,2
VN910	2	15	0,2
VN911	2	15	0,2
VN912	2	15	0,2
VN913	2	15	0,2
VN914	2	15	0,2
VN2080	2	15	0,2

ZÁVĚR

Cílem této práce je návrh a nastavení nadproudových ochran ve spínací stanici 22 kV Frýdek-Místek - Slezská.

V rozvodně jsou staré elektromechanické ochrany, které jsou zastaralé a nespolehlivé, proto je nutné je vyměnit za nové digitální ochrany. Nové digitální ochrany nabízejí dálkový dohled, směrové funkce, zapisovače, lokátory poruch a hlavně vyšší spolehlivost, snížení nákladu na opravy a údržbu.

V teoretické části jsem popsal detailně nadproudové ochrany, dále jsem provedl rozbor zkratových poměrů, které jsou důležité při výpočtech v praktické části.

V praktické části jsem nejprve vypočítal zkratové proudy pro každé vedení a minimální čas vypnutí při přetížení.

Pro nastavení nadproudového stupně se vybere nejmenší minimální zkratový proud I_{k2min}'' .

Pro nastavení zkratového stupně se vybere největší dovolené zatížení vodiče I_{DOV} .

U všech vedení, kromě vedení VN188 a VN910 je nastaven při zkratu čas vypnutí 0 s.

U těchto dvou vedení VN188 a VN910 je čas vypnutí 0,2 s při zkratu z důvodu, že na těchto vedení jsou další ochrany, proto je zde časové zpoždění.

Dále u vedení VN89, VN122 a VN123 v nastavení nesměrovém je nastaven čas vypnutí při zkratu 0,4 s, a to z důvodu, že na vývodním vedení VN188 a VN910 je nastaven čas vypnutí při zkratu 0,2 s, proto je zde nastavené časové zpoždění 0,4 s.

Ve výsledcích u času vypnutí při přetížení jsou časy vypnutí příliš dlouhé, proto se volí mnohem kratší časy okolo 1 s.

Vedení VN89, VN122 a VN123 má nastavení směrové a nesměrové, je to dané tím, že pokud je vedení přívodní je nastavení nesměrové, a pokud je vedení vývodní pak má nastavení směrové.

Směrová ochrana je nastavena na proud vývodu, nesměrová ochrana může být napájecí.

Nastavení nadproudového stupně ochrany se nastavuje na maximální dovolený proud vodiče např. na 120% proudu PTP. U směrových ochran se nastavuje na hodnotu 100% proudu PTP a u nesměrových ochran na 120% proudu PTP.

Automatika opětovného zapnutí se nenastavuje ani nenavrhuje z důvodu, že větší část vedení je kabelová. Vznik přechodné poruchy je nepravděpodobný, a proto je automatika opětovného zapnutí neúčelná.

Nastavení zemních směrových ochran se nastavuje stejně pro všechny zemní směrové ochrany, je to z důvodu zjednodušení výpočtů a nepřesnosti měření.

Při wattmetrické metodě se nastavuje zbytkové napětí U_0 na hodnotu 15 V. Nulový proud I_0 se nastavuje na hodnotu 2 A. Časové zpoždění se nastavuje na hodnotu 0,2 s.

SEZNAM LITERATURY

- [1] HALUZÍK, Evžen. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. Brno: Vysoké učení technické, 1986.
- [2] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1978.
- [3] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách*. Květen 2002.
- [4] Podklady ČEZ Distribuce, a.s.
- [5] BLOKŠA, M.: *Indikace zemního spojení v sítích vn. Konference ČK CIRED, 2005*.
- [6] *Přechodné jevy - MPRJ* [online]. Brno: FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2013
[cit. 2018-04-01]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK_ePower/MPRJ/Ucebni_text_MPRJ.pdf
- [7] SIEMENS: *Technický manuál 7SJ63*.
- [8] JANÍČEK, F., CHLADNÝ, V. a kol.: *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. STU Bratislava, 2004.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 Spolupráce chráněného objektu a ochrany [2]	2
Obr. č. 2 Princip uzavřené smyčky chránění [2]	3
Obr. č. 3 Příklady realizace vstupních členů ochrany [1]	8
Obr. č. 4 Charakteristika závislého měřicího členu [1]	10
Obr. č. 5 Charakteristika rozdílového měřicího členu [1]	11
Obr. č. 6 Charakteristika amplitudového komparátor [1]	12
Obr. č. 7 Charakteristika fázového komparátoru [1]	13
Obr. č. 8 Charakteristiky nadproudových ochran [1]	16
Obr. č. 9 Vypínací plán nezávislé nadproudové ochrany [1]	17
Obr. č. 10 Vypínací plán závislých nadproudových ochran [1]	21
Obr. č. 11 Vypnutí zkratu pomocí směrových nadproudových ochran [1]	22
Obr. č. 12 Nastavení časového členu směrových nadproudových ochran [1]	22
Obr. č. 13 Blokové schéma směrového nadproudového časově nezávislého relé [1]	23
Obr. č. 14 Zjednodušené schéma vedení se zemní poruchou [5]	24
Obr. č. 15 Druhy zkratu [6]	26
Obr. č. 16 Změna napětí při třífázovém zkratu [6]	27
Obr. č. 17 Změna napětí při dvoufázovém zkratu [6]	27
Obr. č. 18 Zkratový proud elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou [3]	27
Obr. č. 19 Zkratový proud elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou [3]	28
Obr. č. 20 Sousedná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(1)}$ [3]	29
Obr. č. 21 Zpětná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(2)}$ [3]	30
Obr. č. 22 Netočivá složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(0)}$ [3]	30
Obr. č. 23 Schéma spínací stanice 22 kV Frýdek-Místek - Slezská [4]	35
Obr. č. 24 Schéma vedení VN912 Obr. č. 25 Schéma vedení VN2080	43

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 Napěťový součinitel c [3].....	31
Tab. č. 2 Napěťová hladina 22 kV [4].....	35
Tab. č. 3 R22kV - vybavení polí AVA 01-34 ochranami [4].....	36
Tab. č. 4 Napájecí linky, zkratové hodnoty proudů, které napájí spínací stanici 22 kV Frýdek-Místek - Slezská.....	41
Tab. č. 5 Parametry vedení linky VN89.....	46
Tab. č. 6 Parametry vedení linky VN122.....	47
Tab. č. 7 Parametry vedení linky VN123.....	47
Tab. č. 8 Parametry vedení linky VN188.....	47
Tab. č. 9 Parametry vedení linky VN908.....	47
Tab. č. 10 Parametry vedení linky VN909.....	48
Tab. č. 11 Parametry vedení linky VN910.....	49
Tab. č. 12 Parametry vedení linky VN910.....	50
Tab. č. 13 Parametry vedení linky VN912.....	50
Tab. č. 14 Parametry vedení linky VN913.....	51
Tab. č. 15 Parametry vedení linky VN914.....	51
Tab. č. 16 Parametry vedení linky VN2080.....	51
Tab. č. 17 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN89.....	52
Tab. č. 18 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN122.....	52
Tab. č. 19 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN123.....	52
Tab. č. 20 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 188.....	53
Tab. č. 21 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 908.....	53
Tab. č. 22 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 909.....	54
Tab. č. 23 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 910.....	54
Tab. č. 24 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 911.....	55
Tab. č. 25 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 912.....	56
Tab. č. 26 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 913.....	56
Tab. č. 27 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 914.....	57
Tab. č. 28 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN 2080.....	57
Tab. č. 29 Vstupní údaje pro nastavení nadproudových ochran.....	58
Tab. č. 30 Výsledné hodnoty pro nastavení nadproudových ochran.....	63
Tab. č. 31 Hodnoty pro zemní směrovou ochranu	64